



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN
DE UN CASCO DECORATIVO DE PLÁSTICO, UTILIZANDO
INGENIERÍA CAD/ CAM”**

MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

Riobamba - Ecuador

2013

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero, 15 del 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE UN CASCO
DECORATIVO DE PLÁSTICO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD/CAM”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Angel Tierra T.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Geovanny Novillo A.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MIGUEL ÁNGEL ESCOBAR GUACHAMBALA
TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE UN CASCO DECORATIVO DE PLÁSTICO, UTILIZANDO INGENIERÍA CAD/CAM”

Fecha de Examinación: Febrero, 15 del 2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno. (PRESIDENTE DEL TRIBUNAL)			
Ing. Ángel Tierra T. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Geovanny Novillo A. (ASESOR DE TESIS)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Miguel Ángel Escobar Guachambala

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, luego a mis padres Vicente y Piedad. También un agradecimiento especial a los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus enseñanzas y apoyo brindado, siendo el pilar fundamental para la culminación del presente trabajo.

También un agradecimiento especial para todos mis compañeros, amigos que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta etapa especial de mi vida.

Miguel Ángel Escobar Guachambala

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres por su amor, comprensión y apoyo incondicional. También de una manera muy especial a mis hijos que son la razón de mi existencia. No he de olvidarme de mis compañeros, amigos y profesores que incondicionalmente siempre estuvieron en los momentos difíciles para ofrecerme su ayuda.

Miguel Ángel Escobar Guachambala

CONTENIDO

Pág.

1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación técnica económica	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
2.	LOS PLÁSTICOS Y LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN PLÁSTICA	
2.1	Definición de un plástico	3
2.1.1	Plástico	3
2.1.2	Polímero.....	3
2.1.3	Obtención del plástico	3
2.2	Clasificación de los plásticos	4
2.2.1	Termoplásticos.	4
2.2.2	Termofijos.....	4
2.2.3	Elastómeros.....	5
2.3	Cartas técnicas de algunos polímeros	5
2.4	Máquina de inyección plástica.....	6
2.4.1	Partes de una máquina de inyección.	6
2.4.1.1	Unidad de cierre.	6
2.4.1.2	Unidad de inyección.....	7
2.4.1.3	Controles.....	7
2.4.1.4	Bancada.....	7
2.4.2	Descripción del proceso de inyección.....	7
2.4.3	Variables en el proceso de inyección.....	10
2.4.3.1	Temperaturas.....	10
2.4.3.2	Velocidades para el proceso de inyección.....	10
2.4.3.3	Presiones en el proceso de inyección.....	12
2.4.3.4	Distancias en el proceso de inyección.....	12
2.4.3.5	Tiempos en el proceso de inyección.....	13
2.4.3.6	Relación de presión-tiempo.....	14
2.4.3.7	Cristalización y deformación de la pieza al enfriarse (contracción).....	14
3.	TEORÍA SOBRE DISEÑO DE MOLDES PARA PRODUCTOS PLÁSTICOS	
3.1	Consideraciones de manufactura para piezas hechas por inyección de plástico.....	15
3.1.1	Ubicación del punto de inyección.....	16
3.1.2	Orientación molecular en el llenado.....	18
3.1.3	Guías de flujo y restricciones de flujo.....	20
3.1.4	Líneas de unión	21
3.1.5	Contracción.....	22
3.1.6	Espesor de pared.....	23
3.1.7	Uso de radios y redondeos.....	24
3.1.8	Comportamiento del plástico por presión, volumen y temperatura.....	26
3.2	Extracción de la pieza.....	27
3.2.1	Ángulos de salida y acabado superficial.....	27
3.2.2	Ranuras y orificios.....	28
4.	CAD/CAM	
4.1	Diseño asistido por computador (CAD)	30
4.1.1	CAD 2D.....	30
4.1.2	Modelado en superficies.....	31
4.1.3	Modelado sólido.....	31
4.2	Fabricación asistida por computador (CAM)	33

4.2.1	Control numérico computacional (CNC).....	34
4.2.1.1	Historia.	34
4.2.1.2	¿Qué es un sistema CNC?	34
4.2.2	Equipamiento CNC.	35
4.2.2.1	Máquinas fresadoras CNC.	35
4.2.2.2	Tornos CNC.....	35
4.2.2.3	Centros de maquinado CNC.	35
4.2.2.4	Máquinas EDM CNC.	36
4.2.3	Operación y programación de máquinas herramientas CNC.....	36
4.2.3.1	Prerrequisitos para operar máquinas CNC.	36
4.2.3.2	Montaje de fijaciones.....	36
4.2.3.3	Herramientas que producen distintas geometrías.	37
4.2.3.4	Parámetros de corte.	38
4.2.3.5	Programación de la máquina CNC.	40
4.2.3.6	Comunicaciones y transferencia de datos.	45
4.2.3.7	Ajustes y preparación de la máquina CNC.	45
4.2.3.4	Reglas de seguridad.	47

5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL MOLDE CASCO DECORATIVO

5.1	Selección de materiales para construcción del molde	48
5.2	Análisis de resistencia mecánica.....	51
5.2.1	Placas de montaje fija y móvil.	52
5.2.2	Paralelas.	52
5.2.3	Sistema de expulsión.....	54
5.2.4	Pernos sometidos a corte.	55
5.2.5	Análisis de esfuerzos mediante Software CAE.	60
5.2.6	Ángulos de desmoldeo.	64
5.3	Diseño para la manufactura.....	64
5.3.1	Material a inyectar y su contracción.	64
5.3.2	Cálculo del número de cavidades.	65
5.3.3	Canales de distribución.	65
5.3.4	Estudio de la partición del molde.....	66
5.3.5	Estudio de la entrada de material.	66
5.3.6	Estudio de la zona de expulsión.	67
5.3.7	Guías y componentes.....	68
5.3.8	Sistema de refrigeración.	69
5.3.9	Tiempo del ciclo de inyección.....	70
5.3.10	Presión de inyección.....	72
5.3.11	Temperatura central al fin del llenado.	73

6. MODELACIÓN, PROGRAMACIÓN CNC, SIMULACIÓN VIRTUAL DEL MECANIZADO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOLDE

6.1	Modelación CAD del casco decorativo.....	74
6.1.1	Modelación CAD del producto.	74
6.1.2	Diseño CAD de las placas cavidad y núcleo.....	80
6.1.2.1	Placa cavidad.	80
6.1.2.2	Placa núcleo.....	81
6.1.3	Diseño CAD del porta molde.	82
6.2	Generar programas CNC y simulación.....	84
6.2.1	Programas CNC y simulación de la placa cavidad.	84
6.2.2	Programas CNC y simulación de la placa núcleo.	87
6.3	Construcción del molde	90
6.3.1	Construcción de las placas de respaldo.....	90
6.3.2	Construcción de la placa Cavidad.	91
6.3.3	Construcción de la placa porta núcleo.	92
6.3.4	Cilindrado del núcleo.	93
6.3.5	Construcción de la placa núcleo.....	93
6.3.6	Construcción de la placa expulsora.....	94

6.3.7	Construcción de guías y bujes.	94
6.3.8	Construcción del bebedero.	95
6.4	Ensamble general.	96
6.5	Pruebas de producción del casco decorativo.	97
6.6	Retoques del molde.	98

7. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANTENIMIENTO

7.1	Costos del molde	99
7.1.1	Costos directos.	99
7.1.2	Costos indirectos.	100
7.1.3	Costo total.	100
7.1.4	Costo de producción por cada casco decorativo.	101
7.2	Mantenimiento	103
7.2.1	Medidas preventivas.	103
7.2.2	Mantenimiento preventivo.	104

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	Conclusiones.	105
8.2	Recomendaciones	106

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Características técnicas de algunos materiales.....	5
2	Valores de contracción en polímeros para inyección.....	14
3	Resistencia al impacto vs orientación.....	19
4	Espesores de pared sugeridos materiales termoplásticos.....	24
5	Volumen admisible de viruta.	39
6	Ejemplo de hoja de operaciones.	41
7	Descripción del código de letras.....	43
8	Descripción de partes y materiales.....	48
9	Características del AISI P20.....	49
10	Características del acero plata.	50
11	Características AISI 1010.....	50
12	Consideraciones de diseño para moldes.....	51
13	Coeficiente de fricción para pares roscados.	57
14	Longitud de rosca para pernos.	58
15	Análisis de esfuerzos placa núcleo.	60
16	Análisis de esfuerzos placa cavidad.....	61
17	Análisis de esfuerzos placa expulsora.....	62
18	Normalización porta molde INTERCH – agujeros.....	64
19	Tolerancias para columnas.	69
20	Tolerancias para camisas.	69
21	Modelación CAD del producto.....	74
22	Diseño CAD de la placa cavidad.	80
23	Diseño CAD del núcleo.	81
24	Diseño CAD de la placa porta núcleos.	82
25	Diseño CAD del porta molde.....	82
26	Programas CNC y simulación para la placa cavidad.	84
27	Programas CNC y simulación para la placa núcleo.....	87
28	Generar programa NC, placa cavidad.....	89
29	Construcción de las placas de respaldo.	90
30	Construcción de las placas de respaldo.	91
31	Construcción de la placa porta núcleo.....	92
32	Cilindrado del núcleo.....	93
33	Construcción de la placa núcleo.....	93
34	Construcción de la placa expulsora.....	94
35	Construcción del guiado.....	94
36	Construcción del bebedero.	95
37	Ensamblaje general del molde.	96
38	Pruebas de inyección del producto plástico.....	97
39	Retoques del molde.	98
40	Costos directos molde.....	99
41	Costos indirectos molde(20%).....	100
42	Costo total molde.	100
43	Costo mensual de producción casco decorativo.	101
44	Costos unitarios casco decorativo.....	101
45	Costo total de producción y ganancias mensualmente.....	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Diferentes aplicaciones del plástico.....	4
2 Estructuras de termoplásticos, termoestables y elastómeros.....	5
3 Máquina de inyección.....	6
4 Unidad de cierre.....	7
5 Unidad de inyección.....	7
6 Proceso de inyección.....	8
7 Llenado del molde en inyección.....	14
8 Ubicación de puntos de inyección.....	16
9 Distintos puntos de inyección.....	17
10 Orientación de llenado.....	18
11 Orientación de llenado vs resistencia.....	19
12 Uso de radios para una menor orientación.....	20
13 Patrón de llenado de una cavidad.....	20
14 Guías y restricciones de flujo.....	21
15 Líneas de soldadura por unión de flujos.....	21
16 Líneas de unión causadas por el uso de varios puntos de inyección.....	21
17 Eliminación de líneas de unión por alivio.....	22
18 Deformación a causa de la contracción.....	23
19 Deformación por diferencias térmicas.....	23
20 Piezas de pared uniforme.....	24
21 Mejoras a un diseño.....	24
22 Áreas potenciales de concentración de esfuerzo.....	25
23 Uso de redondeos para mantener espesor uniforme.....	25
24 Dimensiones para radios internos y externos.....	26
25 Uso de ángulos de salida.....	27
26 Moldes para piezas sin ángulos de salida.....	27
27 Acabado superficial afectado por la dirección de pulido del molde.....	28
28 Dimensiones de orificios.....	29
29 Distancia entre paredes y orificios.....	29
30 Modelo de superficies modo alámbrico.....	31
31 Modelo de superficies modo sombreado.....	31
32 Bridas de sujeción.....	36
33 Herramientas para fresado.....	37
34 Fresado convencional y de ascensión.....	37
35 Planos de Construcción CNC.....	42
36 Corrección del largo de la herramienta CNC.....	46
37 Reglas de seguridad.....	47
38 Porta molde casco decorativo.....	48
39 Momento de inercia X-X.....	53
40 Distribución de pernos de la placa de respaldo, parte móvil.....	55
41 Esquema Molde parte móvil.....	56
42 Compresión de elementos con propiedades elásticas equivalentes.....	58
43 Molde casco decorativo parte móvil.....	59
44 Canales de distribución.....	66
45 Línea de partición.....	66
46 Entrada de material.....	67
47 Ubicación de los expulsores.....	68
48 Columna según especificaciones de catálogo.....	68
49 Camisa según especificaciones de catálogo.....	69
50 Configuración del sistema de refrigeración del molde.....	70
51 Tiempo de llenado para dos cavidades con Polipropileno.....	71
52 Tiempo de enfriamiento del producto plástico PP.....	72
53 Presión de llenado para dos cavidades con PP.....	73
54 Distribución de Temperatura en la cavidad.....	73
55 <i>Flujograma de construcción:</i>	96
56 Producción vs. ganancia.....	102
57 Ganancia vs. meses.....	102

LISTA DE ABREVIACIONES

CAD	Diseño asistido por computador.
CAM	Manufactura asistido por computador.
CAE	Ingeniería asistida por computador.
CAI	Inspección asistida por computador.
CAT	Ensayo asistido por computador.
CNC	Control numérico computacional.
Home	Posición de inicio máquina CNC.
N	Número de secuencia.
G	Funciones preparatorias.
X	Comando del eje X.
Y	Comando del eje Y.
Z	Comando del eje Z.
R	Radio desde el centro especificado.
A	Ángulo contra los punteros del reloj desde el vector +X.
I	Desplazamiento del centro del arco del eje X.
J	Desplazamiento del centro del arco del eje Y.
K	Desplazamiento del centro del arco del eje Z.
F	Tasa de alimentación.
S	Velocidad de giro.
T	Número de la herramienta.
M	Función miscelánea.
EDM	Máquina de descarga eléctrica.
HAITIAN	Maquinaria para inyección de plásticos.
MIT	Massachusetts Institute of Technology.
PP	Polipropileno.
INTERCH	Normalización para porta moldes.
SolidWorks Plastics	Aplicación CAE para análisis de llenado de cavidad.
IMOLD MBC	Aplicación CAD para diseño de porta moldes.

LISTA DE ANEXOS

A	Códigos estándar para máquina CNC.
B	Aceros para moldes de inyección.
C	Máquina de inyección – especificaciones.
D	Normalización para porta moldes.
E	Datos técnicos para mecanizado.

RESUMEN

El presente trabajo es Diseño y Construcción de un Molde para Inyección de un Casco Decorativo de Plástico, Utilizando Ingeniería CAD/CAM. Este trabajo de investigación fue realizado para evitar la aplicación del método prueba error y sus consecuentes correcciones o trabajos adicionales en la construcción de moldes.

Con el objetivo de obtener el producto plástico se procedió a realizar el modelado mediante software CAD (Diseño Asistido por Computador), se diseñó el molde utilizando las normas técnicas internacionales de placas, accesorios, y con ayuda de software para moldes; una vez obtenido los archivos de diseño, se validó utilizando Ingeniería CAE (Ingeniería Asistida por Computador) los esfuerzos, índice de flujo de inyección, el volumen de plástico, temperatura de llenado, presión de llenado y tiempo de enfriamiento. Se procedió al mecanizado mediante CAM (Manufactura Asistida por Computador), en esta etapa se realizó la programación, simulación de trayectorias de herramienta y estrategias de mecanizado.

Con todas estas ingenierías aplicadas, se realiza el ensamblaje del molde y su correspondiente prueba de funcionamiento, montando el molde en la máquina de inyección. En la producción del casco decorativo se empleó plástico reciclado. Los resultados obtenidos en las pruebas de inyección son productos plásticos de calidad a un precio bajo de producción.

En conclusión, mediante la utilización de CAD/CAM se puede disminuir los tiempos de diseño y construcción, con niveles altos de calidad. Investigar otras alternativas de diseño para el sistema de expulsión del producto, con el objetivo de optimizar la estética del producto plástico.

ABSTRACT

The present work is a Mold Injection Desing and Construction of a Decorative Plastic Helmet, using CAD/CAM Engineering. This investigation work was elaborated to avoid the application of try - error method and its consequential corrections or additional works in the construction of Molds.

In order to get the plastic product, the modeling was developed through software CAD (Computer Assisted Desing), the mold was designed using the international technical regulations of plates, accessories and with the help of software for molds; after having the design files, it was validated using CAE Engineering (Computer Assisted Engineering) the efforts, injection flow index, plastic volume, filling temperature, filling pressure and cooling time. The mechanical was elaborated through CAM (Computer Assisted Manufacture), in this stage the programming, simulation of tool trajectory and mechanical strategies were accomplished.

With the applied engineering, the mold assembly was accomplished and its corresponding operating test, mounting the mold in the injection machine. In the production of the decorative helmet the recycled plastic was employed. The results obtained in the injection tests are plastic products of quality at a low production prize.

In conclusion, by means of CAD/CAM, it is possible to reduce the times of desing and construction, with high quality levels. To investigate other desing alternatives for the expulsion product system to optimize the aesthetics of the plastic product.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En la actualidad el plástico es empleado en nuestra vida cotidiana, ha sustituido partes metálicas en la industria automotriz, se usa en la construcción, en empaques, electrodomésticos (lavadoras, licuadoras, refrigeradores, etc.) y en un futuro no muy lejano irá entrando en otras ramas de la industria, por ejemplo en medicina, como sustitutos de articulaciones (articulaciones artificiales), los juegos de toda índole y en artículos deportivos, como pueden ver la rama del plástico está en proceso de crecimiento. Ya que es común observar piezas que anteriormente eran producidas con otros materiales, por ejemplo con madera o metal y que ya han sido substituidas por otras de plástico.

Una de las razones de la gran acogida y desarrollo de los materiales plástico, se debe a su amplia gama de propiedades que poseen y su facilidad para ser procesados. Existen diversos procesos para el conformado de productos plásticos, entre uno de los principales procesos tenemos el moldeo por inyección, la construcción de mencionados moldes de conformado de plástico, se han facilitado mediante la aplicación de Ingeniería CAD/CAM.

El dibujo asistido por ordenador CAD y la manufactura asistida por ordenador CAM, son herramientas precisas y eficaces para los profesionales dedicados a la construcción en diferentes campos de la Industria Mundial, se puede mencionar en particular en el Diseño y Construcción de Moldes para conformado de plástico. En nuestro país el CAD/CAM ha ido tomando protagonismo a nivel Industrial, por lo cual es necesario investigar sobre esta rama de la Ingeniería.

1.2 Justificación técnica económica

El gobierno nacional ha implementado políticas para reducir las importaciones de productos elaborados y generar más empleo en el país. Entre los productos que más se importan son los elaborados en plástico, en su mayoría conformados en moldes. Estos productos plásticos tienen geometrías dinámicas, innovadoras de actualidad para tener gran aceptación en el mercado. La habilidad para mecanizar mencionadas

superficies dinámicas, es la piedra angular de la manufactura moderna, para lo cual se hace indispensable la implementación de la ingeniería CAD-CAM.

El CAD/CAM, es una ingeniería indispensable en los procesos productivos sometidos al alto nivel de competitividad en el mercado nacional e internacional.

Debido a la gran demanda de moldes de inyección para conformado de productos plásticos y a la poca explotación en este campo de la Industria a nivel local, se considera dejar un precedente para la elaboración de moldes.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un molde para inyección de un casco decorativo de plástico, utilizando ingeniería CAD/CAM.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

Realizar el modelado del producto a fabricarse, mediante Software CAD.

Diseñar el molde con todas sus partes constitutivas y accesorios, mediante cálculos de ingeniería para determinar las dimensiones óptimas y materiales adecuados para garantizar su funcionalidad.

Simular el funcionamiento del molde mediante el software CAE.

Construir el molde utilizando Ingeniería CAM.

Probar el funcionamiento del molde, montado en la inyectora.

Retoques del molde.

Pruebas del producto.

Análisis de costos.

Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

2. LOS PLÁSTICOS Y LAS MÁQUINAS DE INYECCIÓN PLÁSTICA.

2.1 Definición de un plástico

2.1.1 Plástico. Los plásticos son materiales orgánicos compuestos fundamentalmente de carbono y otros elementos como el hidrogeno, el oxigeno, el nitrógeno o el azufre. En la actualidad, la mayoría de los plásticos que se comercializan provienen de la destilación del petróleo. La industria de plásticos utiliza el 6% del petróleo que pasa por las refinerías. [1]

El término plástico en su significación más general, se aplica a las sustancias de similares estructuras que carecen de un punto fijo de evaporación y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones.

2.1.2 Polímero. Proviene del griego poly, muchos; meros; parte segmento, entonces se puede decir que es sustancia formada de muchos segmentos, puede ser un compuesto orgánico natural o sintético cuya característica principal está formado por grandes moléculas (macromoléculas) y estas a su vez están formadas de pequeñas moléculas que se repiten varias veces, esta molécula pequeña que se repite se llama monómero. En el sentido más generalizado de la palabra, los plásticos incluyen aquellas materias orgánicas que se producen mediante la transformación química de productos naturales o mediante la síntesis de productos primarios a base de la desintegración de carbón, petróleo y gas natural.

2.1.3 Obtención del plástico. Los plásticos se obtienen mediante polimerización de compuestos derivados del petróleo y del gas natural. La mayor parte de los plásticos son obtenidos de forma sintética, y la reacción mediante la cual se unen las moléculas de bajo peso para formar a los polímeros, se denomina polimerización. Se distinguen dos procesos básicos de polimerización.

Polimerización.- El polímero se forma a través de monómeros, con la ayuda de catalizadores y se obtienen siempre termoplásticos.

Polimerización por condensación.- Es cuando se une secuencialmente numerosos poseedores de dos o más grupos reactivos con pérdidas de moléculas sencillas (agua, amoníaco, metanol).

La mayoría de los materiales plásticos son transparentes, incoloros y frágiles. Pero si se les añade determinadas sustancias, sus propiedades cambian, y se les puede hacer ligeros, flexibles, coloreados, aislantes, etc.

Figura 1. Diferentes aplicaciones del plástico.



Fuente: <http://www.librosvivos.net/smtc/hometc.asp?temaclave=1079>

2.2 Clasificación de los plásticos

Se pueden clasificar por su estructura química, ya que es la que determina sus propiedades, la clasificación por su estructura química es de acuerdo a su comportamiento al calor, cristalinidad y presencia de monómeros.

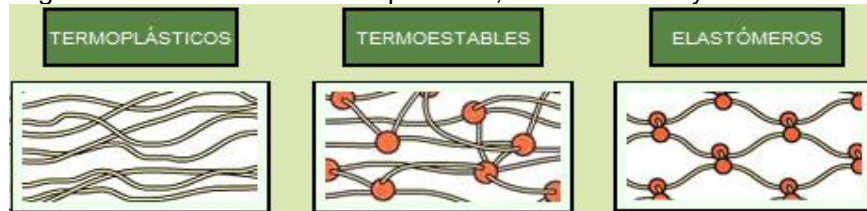
Generalmente los plásticos se clasifican por su comportamiento al calor en: termoplásticos, Termofijos y elastómeros.

2.2.1 Termoplásticos. Son materiales cuyas macromoléculas están ordenadas a manera de largas cadenas unidas entre sí por medio de enlaces secundarios, su ordenación se puede comparar con una madeja de hilos largos y delgados. La principal característica de estos es que pueden ser llevados a un estado viscoso una y otra vez por medio del calentamiento y ser procesados varias veces.

2.2.2 Termofijos. Son materiales que están formados prácticamente por una gran molécula en forma de red, con uniones muy fuertes entre molécula y molécula, lo que provoca que estos materiales no se reblandezcan con la aplicación de calor cuando ya han sido transformados. A diferencia de los termoplásticos, estos materiales ya no pueden moldearse porque al aplicarles calor se destruyen.

2.2.3 Elastómeros. Se componen de largas cadenas que se encuentran unidas entre si por muy pocas uniones químicas. Esto les permite un gran movimiento intermolecular que se ve reflejado en su buena flexibilidad. Son materiales que tienen memoria, es decir que al someterlos a un esfuerzo modifican su forma, recuperándola cuando se retira ese esfuerzo. Debido a sus uniones químicas que existen entre las moléculas no se les puede volver a procesar, y son plásticos de estructura amorfa. Aunque estos plásticos se han manejado en forma independiente debido a que su mercado está canalizado a sustituciones del caucho natural, sin embargo ya existen cauchos termoplásticos, que constituyen una familia de elastómeros avanzados.

Figura 2. Estructuras de termoplásticos, termoestables y elastómeros.



Fuente: <http://www.librosvivos.net/smtc/hometc.asp?temaclave=1079>

2.3 Cartas técnicas de algunos polímeros

En este capítulo se dan algunos datos técnicos de materiales que hemos tenido la oportunidad de moldear, pueden variar, pero la intención es que se tengan mínimo una idea de las temperaturas que requieren para poder moldearse.

Tabla 1. Características técnicas de algunos materiales.

Material	Temperatura de elaboración [°C]	Temperatura del molde [°C]
Poliétileno baja densidad	170-260	0- 70
Poliétileno alta densidad	220-320	0- 70
Poliestireno normal	200-250	30- 60
Poliestireno antichoque	200-250	30- 60
Poliámidas 6	240-290	60-100
Poliámidas 6 + fibra de vidrio	260-310	80-120
Poliámidas 6,6	260-300	40-120
Poliámidas 6,6 + fibra de vidrio	280-320	60-120
Poliámidas 6,10	230-260	80-120
Estireno-acrilonitrilo	230-260	50- 80
Polimetacrílico	170-230	40- 90
Policarbonato	280-310	85-120
Copolímero acetal	180-230	70-130
Cloruro de polivinilo blando	180	20- 80
Cloruro de polivinilo duro	180-190	20- 80
Polipropileno	180-280	0- 80
Acetato de celulosa	180-230	40- 80
Acetobutirato de celulosa	180-220	40- 80
Propionato de celulosa	180-220	40- 80
Acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS)	180-240	50- 80

Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

2.4 Máquina de inyección plástica

Las máquinas de inyección de plásticos derivan de la máquina de fundición a presión para metales, según algunas referencias, la primera máquina de moldeo fue patentada en 1872 para la inyección de nitrato de celulosa, pero debida a su flamabilidad y peligrosidad, el proceso no floreció. [2]

En 1920 se construyó en Alemania una máquina para la producción de piezas de materiales termoplásticos, mediante el proceso de inyección, dicha máquina era totalmente manual, posteriormente, en 1927 y en el mismo país, se desarrollo una máquina para inyección de plásticos accionada por cilindros neumáticos, pero no tuvo mucho éxito debido a que se requería de máquinas con presiones superiores.

El verdadero auge de este proceso, sucedió entre los años 1930 a 1940 con las aplicaciones para los recién descubiertos poliestireno y acrílico, se observó que el proceso permitía la fabricación rápida y económica de artículos útiles. A las máquinas manuales siguieron máquinas accionadas hidráulicamente, cuya construcción alcanzó su verdadero desarrollo hasta el término de la segunda guerra mundial. Eran equipos que no requerían complicados y costosos sistemas hidráulicos para operar, por su sencillez se podían instalar en pequeños locales. A partir de ese momento, el desarrollo y la evolución técnica fue sorprendente. Actualmente, se cuenta con máquinas totalmente automáticas que no requieren de la intervención del operador.

Figura 3. Máquina de inyección.



Fuente: <http://www.injectionmachinecn.es/1-4-plastic-injection-machine.html>

2.4.1 Partes de una máquina de inyección.

2.4.1.1 Unidad de cierre. También es conocida como unidad de cierre del molde y es el componente de la máquina que sostiene el molde, efectúa el cierre y la apertura, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección y cuando el molde se abre, expulsa la pieza moldeada.

En la actualidad se han creado muchos sistemas de cierre, pero los más conocidos y utilizados son: cierre por rodillera (simple o doble), Cierre por pistón (también conocido como cierre directo) y cierre hidromecánico o pistón bloqueado.

Figura 4. Unidad de cierre.



Fuente: [www.haitian.com/Plastics Machinery](http://www.haitian.com/Plastics%20Machinery)

2.4.1.2 Unidad de inyección. La unidad de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección al molde del material plástico, el cual entra en esta unidad de inyección en forma de pellet o grano.

Figura 5. Unidad de inyección.



Fuente: [www.haitian.com/Plastics Machinery](http://www.haitian.com/Plastics%20Machinery)

2.4.1.3 Controles. Es el tablero eléctrico y/o electrónico que contiene los parámetros a controlar en la máquina de inyección.

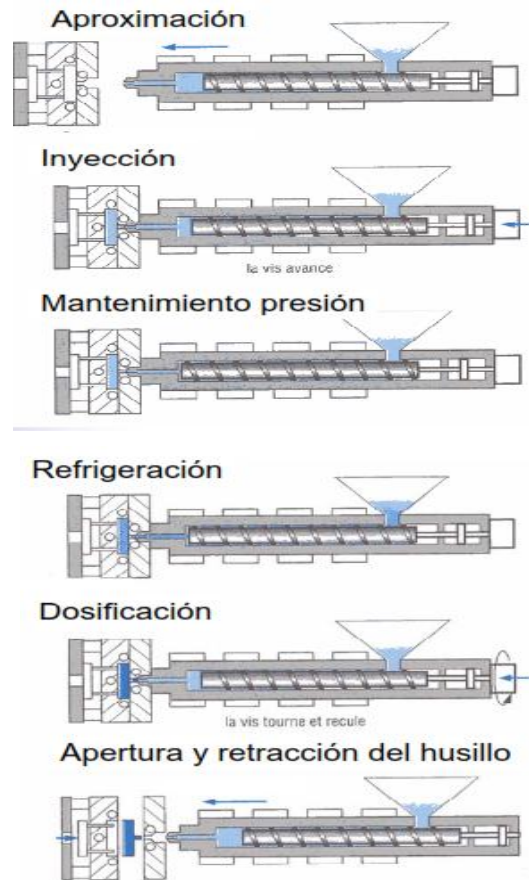
2.4.1.4 Bancada. Es la base de la máquina de inyección que sostiene la unidad de cierre, a unidad de plastificación o inyección, los controles y el sistema hidráulico de la máquina.

2.4.2 Descripción del proceso de inyección. El proceso de inyección es discontinuo, y es llevado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar o periférico. [3]

Fases de inyección en la máquina:

- ✓ Cierre del molde
- ✓ Fases de llenado y mantenimiento
- ✓ Plastificación o dosificación y enfriado de la pieza
- ✓ Apertura del molde y expulsión de la pieza

Figura 6. Proceso de inyección.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>

Descripción del proceso.- El plástico se coloca en la tolva, normalmente es gránulo (pellet) en forma de esfera o cubo. En algunos casos el termoplástico tiene que ser secado o desunificado antes de utilizarlo.

Cierre del molde.- El aceite entra en el cilindro hidráulico empujando a la platina móvil hacia delante, cerrando el molde. Esto se lleva en dos pasos. Primero un cierre a alta velocidad y momentos antes de que las mitades del molde hagan contacto se reduce

la velocidad cerrando lentamente y a baja presión hasta que el molde se encuentra cerrado completamente. Esto se hace con el fin de proteger el molde.

Llenado y mantenimiento de la presión.- Después de cerrado el molde, se eleva la presión del aceite, en el cilindro hidráulico generando la fuerza de cierre para mantener cerrado el molde durante la inyección.

Si la fuerza de cierre es menor a la fuerza generada por la presión de inyección dentro del molde, éste se abrirá, teniendo como consecuencia que la pieza salga con exceso de plástico o comúnmente llamada rebaba o flash, a la cual habrá que darle un acabado o ser molida para procesarla nuevamente.

El material es plastificado principalmente por la rotación del husillo, convirtiendo la energía mecánica en calor, también absorbe calor de las bandas calefactores del cilindro, conocidas también como resistencias. Mientras el material es plastificado y homogenizado, se le transporta hacia delante, a la punta del husillo. La presión generada por el husillo sobre el material fuerza el desplazamiento del sistema motriz, el pistón hidráulico de inyección y del mismo husillo hacia atrás, dejando una reserva de material plastificado en la parte delantera del husillo. A este paso se le conoce como dosificación o carga del cilindro. El husillo sigue girando hasta que se acciona un switch límite que retiene la rotación. Este switch es ajustable y su posición determina la cantidad de material que queda delante del husillo.

El husillo al correrse hacia atrás fuerza la salida del aceite del pistón hidráulico de inyección. Esta salida de aceite puede ser directa al tanque o depósito por medio de una válvula para generar una cierta presión en el material que está siendo plastificado y homogenizado por el husillo. A esta presión se le conoce como contrapresión. Al finalizar la dosificación, se retrocede el husillo ligeramente para descompresión el material y evitar que fluya hacia fuera de la boquilla cuando la unidad de inyección se separe del molde. A esto se le conoce con el nombre de descompresión y es controlado generalmente por un regulador de tiempo.

Ahora después de la inyección, la presión es mantenida un cierto tiempo, a esta se le conoce con el nombre de presión de sostenimiento y normalmente es menor a la presión de inyección. Normalmente se tiene en la punta del husillo una válvula de no retorno que impide que el material fluya hacia atrás en el momento de la inyección. Esta válvula se abre al dosificar y se cierra al inyectar, mientras el material se enfría, se

vuelve más viscoso y solidifica hasta que el punto en la presión de sostenimiento no tiene efecto alguno.

Plastificación y refrigeración.- El calor de la pieza transmitido al molde durante el enfriamiento es disipado por un refrigerante, normalmente agua, que corre a través de los orificios hechos en el molde (circuitos ó canales de refrigeración). El tiempo de cierre necesario para enfriar la pieza se ajusta en un regulador de tiempo.

Apertura y expulsión de la pieza.- Cuando este termina se abre el molde, un mecanismo de expulsión separa el artículo del molde y la máquina se encuentra lista para iniciar el próximo ciclo. Esto ocurre durante el proceso de inyección del material al molde para obtener la pieza que se quiere hacer, moldear o fabricar.

2.4.3 Variables en el proceso de inyección. Los parámetros a controlar en el proceso de inyección dependen del material a trabajar, del diseño del molde y la pieza. Cada caso es particular, las variables a controlar son: temperaturas; velocidades, presiones; distancias y tiempos.

2.4.3.1 Temperaturas. Las temperaturas pueden ser del cilindro de plastificación, de la boquilla y del molde. La temperatura del cilindro de plastificación y de la boquilla, esta dada por el tipo de material a trabajar, estas temperaturas se ajustan de acuerdo a la temperatura de la masa fundida, la temperatura de la masa fundida determina las propiedades estructurales de una pieza moldeada, por lo que debe ser constante y uniforme ya que controla la densidad y contracción. El proceso de plastificación de una resina cristalina es muy estrecho y requiere más energía.

De igual manera la temperatura el molde está en función o es determinada por el material plástico a trabajar. Y el acabado de la pieza. La temperatura del aceite de la máquina se controla mediante un sistema de refrigeración. La temperatura del aceite de la máquina debe ser de 40 °C y no rebasar los 50 °C.

2.4.3.2 Velocidades para el proceso de inyección. Velocidad de cierre de molde.- Es la distancia que recorre la platina móvil hasta hacer contacto con la platina fija del molde (es importante mencionar que la unidad de cierre se forma de parte móvil y parte fija) en un tiempo determinado, la velocidad de cierre del molde se realiza en varias etapas: Alta velocidad, media velocidad y baja velocidad, esto con el fin de

evitar aceleraciones y frenados bruscos durante la fase de cerrado del plato móvil, también dependerá de la pieza a moldear.

Velocidad de apertura de molde.- Es la distancia que recorre la platina móvil del molde hasta separarse de la platina fija y dejar el espacio suficiente para la expulsión de las piezas en un tiempo determinado. La velocidad de apertura del molde se realiza al contrario de la fase de cierre de molde: baja velocidad, media velocidad y alta velocidad, también esto dependerá de la pieza a moldear.

Velocidad de plastificación.- La velocidad de plastificación se controla por las revoluciones por minuto o giros por minuto del husillo o tornillo en el momento de la plastificación.

Velocidad de inyección.- La velocidad de inyección dependerá de los siguientes factores

- ✓ La viscosidad del polímero.
- ✓ Condiciones del molde.
- ✓ Tamaño y número de puntos de entrada de material.
- ✓ Tamaño de los canales o venas de alimentación del material.
- ✓ Salidas de aire en el molde.
- ✓ Temperatura de la masa fundida
- ✓ Temperatura del molde.
- ✓ Acabado de la pieza.

Cuando se moldean piezas de secciones delgadas se requieren generalmente velocidades de inyección altas con objeto de llenar la pieza antes de que se solidifique.

El uso de una velocidad de inyección alta mejorara el aspecto y brillo superficial de la pieza, ya que la cavidad del molde se llena completamente antes de que la resina comience su solidificación, variando la velocidad de inyección adecuadamente se pueden reducir los defectos superficiales en la pieza, tales como las ráfagas y manchas en la zona del punto de inyección.

Velocidad de expulsión.- Es la distancia que recorren los expulsores en un tiempo determinado para expulsar la pieza moldeada.

2.4.3.3 Presiones en el proceso de inyección.

Primera presión de inyección.- Es la presión requerida para vencer las resistencias que el material fundido produce a lo largo de su trayectoria, desde el cilindro de plastificación hasta el molde, esta presión corresponde a la fase de llenado del molde, con esta pretendemos llenar la cavidad en un 90 ó 95%, para después terminar de llenar la pieza con la segunda presión y velocidades.

Segunda presión de inyección.- También es conocida como de sostenimiento o recalque, tiene como objeto el mantener bajo presión el material fundido que se solidifica y se contrae en la cavidad del molde, la función de esta segunda presión, es la de completar el llenado y así compensar la contracción, introduciendo un poco más de material fundido en el molde. Es importante mencionar que si se excede en aplicar esta presión puede producir rebaba (flash) o una compactación tal que originara que las piezas se peguen en el lado fijo.

Contrapresión.- En el momento de la plastificación el material es llevado hacia delante en tanto que el husillo va girando hacia atrás, la contrapresión se aplica sobre el husillo que gira y tiene como función el impedir el retorno de éste, mejorando la acción de la mezcla del material. Dicho en otras palabras, esto ayuda a que se logre una buena homogenización del plástico. Otra definición: es la oposición a que el husillo se mueva libremente hacia atrás mientras está cargando.

Descompresión.- Es la distancia que el husillo se hace para atrás con la finalidad de liberar la presión ejercida sobre el plástico de tal manera que no escurra el material al momento que abra el molde. Existe la posibilidad de hacerlo antes o después de la dosificación, también es válido de que si no se puede usar este recurso, se debe jugar con la temperatura de la nariz, bajando poco a poco la temperatura hasta un punto en que nos permita inyectar y se vea que no escurre material.

Presión de expulsión.- Una vez terminada la apertura del molde, la pieza se debe separar del molde, y esto se logra a través de un mecanismo de expulsión, que requiere de una presión de botado que esta activada durante toda la fase de expulsión.

2.4.3.4 Distancias en el proceso de inyección. Distancia de dosificación (inyección) y espesor del colchón: Son los milímetros de material inyectado en función del volumen (cm³) y la unidad de plastificación.

Otra definición, es la cantidad de plástico necesaria para llenar todas las cavidades y la colada.

El espesor del colchón son los milímetros de material que deben permanecer constantes en la punta del husillo, para garantizar una repetitividad en el proceso; Otra definición, es la distancia que el husillo reserva para terminar de introducir material al interior del molde, de acuerdo a veces este debe ser el 10% de la capacidad del la capacidad del barril.

Distancia de conmutación a segunda presión.- Son los milímetros necesarios para hacer el cambio por distancia, de primera presión de inyección a segunda presión de inyección.

Distancia de apertura de molde.- Es la distancia que deseamos que abra la parte móvil del molde para que pueda expulsarse la pieza.

Distancia de expulsión.- Son los milímetros recorridos por el sistema de expulsión de la pieza inyectada, para que pueda desmoldear del molde.

2.4.3.5 Tiempos en el proceso de inyección.

Tiempo de inyección.- Es el tiempo en el que se lleva a cabo el llenado de las cavidades del molde.

Tiempo de post presión.- Es el tiempo en que permanece activa la postpresión, o segunda presión.

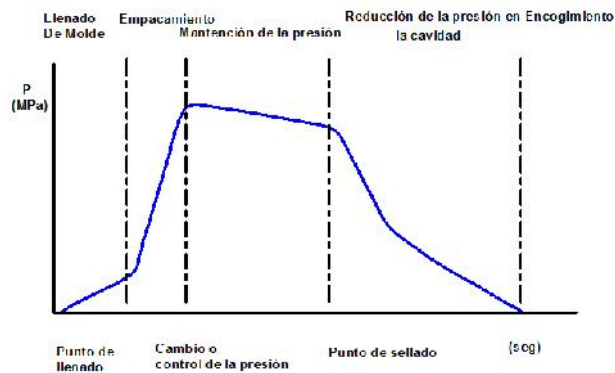
Tiempo de plastificación.- Es el tiempo requerido para llevarse a cabo la fusión del material, hasta llevarlo a un estado líquido viscoso.

Tiempo de enfriamiento.- Es el tiempo para acabar de solidificar la pieza, y este empieza después de que termina el tiempo de post presión y acaba cuando el molde se abre para expulsar la pieza.

Tiempo de ciclo.- Es el tiempo en el que se llevan a cabo las etapas del proceso de inyección: tiempo de cierre + tiempo de inyección + tiempo de post presión + tiempo de enfriamiento que incluye el tiempo de plastificación + tiempo de apertura y expulsión.

2.4.3.6 Relación de presión-tiempo. En cualquier polímero, las relaciones entre presión, volumen y temperatura son muy importantes para obtener un proceso de inyección eficiente, ya que el volumen específico de un polímero aumenta al ascender la temperatura del mismo. Entre estas dos dimensiones se presentan curvas isobáricas por las cuales se guía el polímero.

Figura 7. Llenado del molde en inyección.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Llenado_de_molde_en_inyeccion.png

Las relaciones de P vs t se utilizan en ingeniería de polímeros para lograr un sistema técnico que, basado en la teoría molecular, proporcione datos aplicados a los polímeros en estado fundido en un amplio rango de presión y temperatura.

2.4.3.7 Cristalización y deformación de la pieza al enfriarse (contracción).

Los polímeros semi cristalinos modificarán más su tamaño dependiendo de la temperatura en la cual se les permita cristalizar. Por ello, el grado de cristalinidad afecta directamente a la densidad final de la pieza. La temperatura del molde y el enfriamiento deben ser los adecuados para obtener partes de calidad.

Tabla 2. Valores de contracción en polímeros para inyección.

VALORES DE CONTRACCIÓN	
Material	Contracción mm
ABS	0.005-0.007
ACETAL, axial	0.021-0.026
Acetal radial	0.018-0.020
Acrílico	0.004-0.007
EVA	0.007-0.020
Nylon 6	0.006-0.014
Policarbonato	0.006-0.008
PET	0.004-0.045
Polipropileno	0.012-0.022
Poliestireno	0.002-0.006
PVC	0.003-0.008

Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

CAPÍTULO III

3. TEORÍA SOBRE DISEÑO DE MOLDES PARA PRODUCTOS PLÁSTICOS

Al diseñar productos plásticos deben contemplarse conceptos y especificaciones que permitirán el moldeo eficaz de la pieza. La mayor parte de estos conceptos son de tipo geométrico por ejemplo ángulos, radios, redondeos, espesores, entre otros. También se considera especificaciones técnicas como distancias entre agujeros, ubicación de puntos de inyección, etc. Todos estos parámetros garantizan la funcionalidad del molde y que el producto final cumpla con los requerimientos de resistencia, estética necesarios.

3.1 Consideraciones de manufactura para piezas hechas por inyección de plástico

Es importante reconocer que el diseño de un producto determinará la moldeabilidad o manufacturabilidad del mismo. Así mismo influirá en los requerimientos del herramental y en los costos del mismo.

En el proceso de diseño siempre es necesario tener en cuenta factores como:

- Tipo de producción.
- Capacidad de la máquina
- Presupuesto.
- Experiencia propia del diseñador.

Además se debe reconocer que las propiedades finales de un producto de plástico se verán influenciadas por factores como el tipo y diseño del molde así como las condiciones del proceso de inyección.

Las fases del proceso de inyección son:

- a) Llenado de molde.
- b) Empacado.
- c) Estabilización de presión.
- d) Enfriamiento.
- e) Extracción de la pieza.

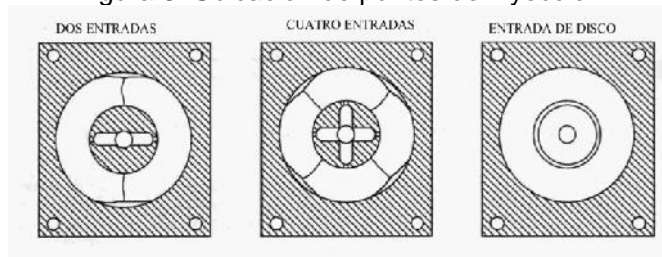
Cada una de estas fases tendrá influencia en el diseño del producto. Un buen diseño debe satisfacer los requerimientos de cada una de estas fases.

3.1.1 Ubicación del punto de inyección. Una decisión importante a tomar, es la ubicación del punto de inyección, o dicho en otras palabras, donde comenzará a llenarse la cavidad. El lugar escogido y el tipo de punto de inyección tienen influencia sobre las propiedades del producto final y sobre el desempeño de las fases del proceso de inyección. Esta decisión se debe tomar después del análisis en conjunto entre el diseño del producto y el diseño del molde. Cada ubicación del punto de inyección tiene sus ventajas y desventajas.

Una buena práctica es considerar todas las opciones posibles antes de decidir, tomando en cuenta los siguientes factores:

La contracción.- en las zonas cercanas al punto de inyección es menor que en otras partes pues hay mayor presión y compresión por lo tanto entre más puntos de inyección se tengan mayor estabilidad dimensional se tendrá también aunque desafortunadamente esto no es siempre posible.

Figura 8. Ubicación de puntos de inyección.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Ubicar el punto por donde el fluido penetrará.- En la cavidad es de gran importancia no solo para obtener una buena calidad de la pieza inyectada y posibilitar un llenado adecuado de la misma, sino también para conseguir mejores tiempos de llenado y de este modo reducir los tiempos de fabricación.

Controlar la temperatura.- A la cual la masa llega en estado fundido a los diferentes puntos molde, nos permitirá conocer la viscosidad el plástico en estos puntos y por lo tanto la facilidad con la que se podrá reproducir la superficie del molde. Este parámetro nos dará una idea de la calidad superficial que vamos a obtener.

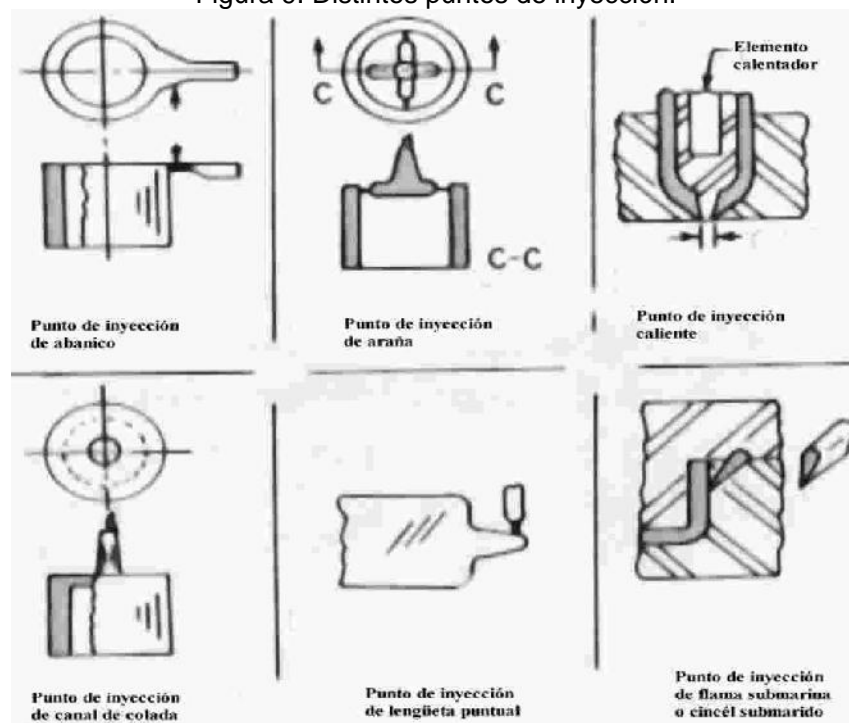
A continuación, se detalla diferentes consideraciones a tener en cuenta para seleccionar la ubicación del punto de inyección: [4]

- El punto de inyección, siempre y cuando nos lo permita la geometría de la pieza, situara cerca del centro geométrico de la pieza. De este modo se consigue un llenado equilibrado en presión, temperatura y tiempo, en las diferentes zonas de la cavidad.
- El punto de inyección se situara en las cercanías de la superficie vista de la pieza. Se pretende de este modo que el material llegue con temperatura alta y reproduzca con mejor calidad esta superficie.

No existe ninguna regla que determine la geometría de los puntos de inyección pero se recomienda:

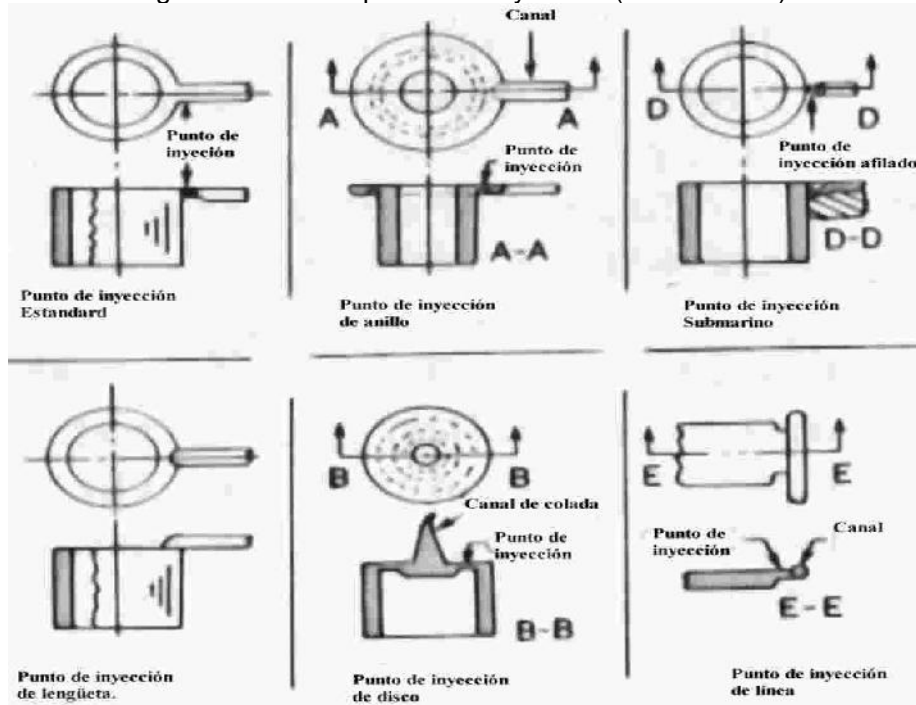
- Comenzar con una profundidad de 0.635mm y hacer pruebas variando las condiciones del proceso.
- Es recomendable el uso de puntos de inyección redondos.
- Generalmente el grosor del punto de inyección es de 40% a 60% el grosor de la pieza.

Figura 9. Distintos puntos de inyección.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Figura 9. Distintos puntos de inyección (continuación).

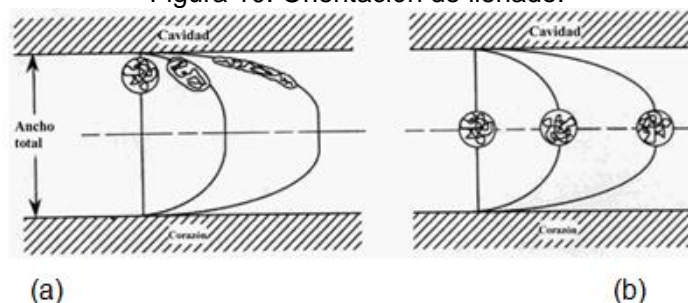


Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

3.1.2 Orientación molecular en el llenado. Se debe reconocer que siempre existe cierto grado de orientación molecular en una pieza inyectada, la orientación se produce en la fase de llenado, las cadenas del polímero se alargan debido a los gradientes de velocidad (figura10a).

La orientación molecular ocurre en un mayor grado en las orillas de la pieza debido a que en el centro el flujo es más estable. En la fase de empacado la orientación también ocurre debido a que el material sigue entrando para compensar las contracciones (figura 10b). La orientación molecular es mayor en polímeros de cadenas largas o de gran peso molecular.

Figura 10. Orientación de llenado.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

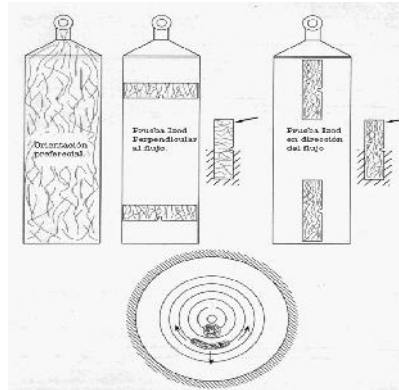
La orientación molecular origina esfuerzos residuales en las piezas terminadas, también afectan la resistencia mecánica de las piezas al ofrecer mayor resistencia en el sentido axial de la orientación que en sentido perpendicular de la misma.

Tabla 3. Resistencia al impacto vs orientación.

Localización de la muestra	Dirección de la muestra (Con respecto al flujo.)	Resistencia promedio al impacto IZOD	
		(ft-lbs / in)	(J/m)
Cercano al punto de inyección	Paralela	2.53	137
Cercano al punto de inyección	Paralela	0.95	51
Final del flujo	Perpendicular	2.21	119
Final del flujo	Perpendicular	0.66	36

Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Figura 11. Orientación de llenado vs resistencia.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

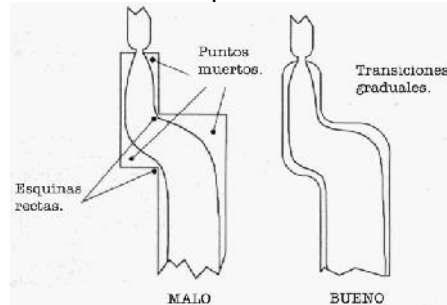
El grado de orientación se ve afectado por el peso molecular del polímero y por las características de relajación del material. La orientación se puede controlar por medio de variables que promuevan la relajación y por medio de la geometría del producto.

La relajación puede ser promovida en el molde por medio de un incremento en la temperatura del molde y la adición de una capa aislante en el molde. También el valor del flujo influirá en la orientación cuando se aumenta, también se aumenta el grado de orientación, pero al incrementarse también aumenta la temperatura lo cual elimina un cierto grado de orientación.

En el diseño de la pieza se debe considerar ubicar el punto de inyección en una posición tal que promueva orientación en la dirección del mayor esfuerzo. Por otro lado cuando se tiene una pieza que sufre múltiples esfuerzos se debe minimizar en lo posible la orientación. Los cambios de dirección en el flujo son de particular

importancia y se deben evitar las esquinas cambiándolas por radios o cambios de dirección más suaves.

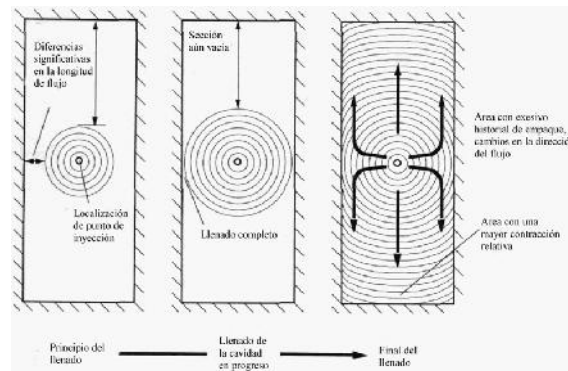
Figura 12. Uso de radios para una menor orientación.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

3.1.3 Guías de flujo y restricciones de flujo. Idealmente un producto plástico debe llenarse a partir del punto de inyección de tal forma que el material llegue a todos los rincones de la pieza al mismo tiempo, esto significa un patrón de flujo uniforme y una buena distribución de presión, pero esto no siempre es así. Para solucionar esto se pueden utilizar más de un punto de inyección pero esto traerá como consecuencia líneas de unión.

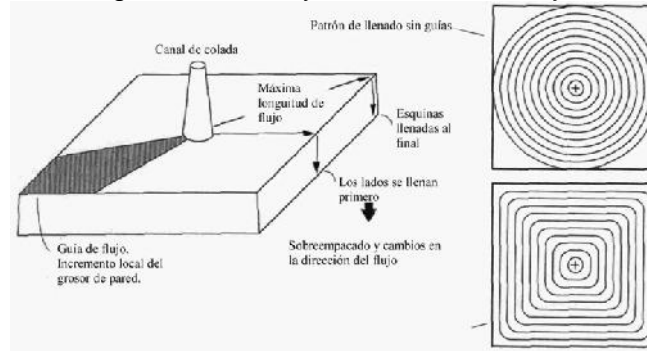
Figura 13. Patrón de llenado de una cavidad.



Fuente: Mengues, G. Moldes para Inyección de plástico.

Así como la distribución de la presión puede ser cambiada modificando la ubicación del punto de inyección, también es posible hacerlo añadiendo guías o restricciones al flujo, que no son más que una modificación en la sección transversal de la pieza. Para promover un flujo más rápido se aumenta el grosor esto es una guía, y para restringir el flujo se reduce. Se debe añadir guías en donde existe una mayor longitud de flujo y restringirlo en la dirección donde es menor dicha longitud.

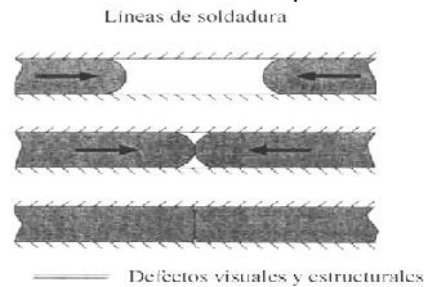
Figura 14. Guías y restricciones de flujo.



Fuente: Mengues, G. Moldes para Inyección de plástico.

3.1.4 Líneas de unión Las líneas de unión se forman cuando el flujo se separa y se vuelve a encontrar volviéndose a unir. En estas uniones la resistencia del material es menor y algunas veces la apariencia del mismo cambia y se nota una unión en el producto final esto es de particular importancia si la pieza estará sometida a cargas dinámicas.

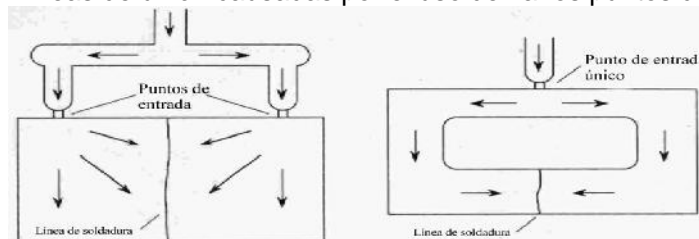
Figura 15. Líneas de soldadura por unión de flujos.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

En el diseño de la pieza se puede modificar el grosor de las paredes, la geometría en general, y la ubicación del punto de inyección para evitar líneas de unión indeseables. La ayuda de simuladores es la única forma exacta de predecir éste fenómeno incluso en las piezas más complejas.

Figura 16. Líneas de unión causadas por el uso de varios puntos de inyección.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Cuando hay una línea de unión causada por un punto de inyección, esta se puede solucionar de dos formas, una es añadiendo un alivio para la unión, y otra es usando más de un punto de inyección. Este último producirá mayor número de uniones pero de mayor resistencia debido a la menor longitud de flujo.



Fuente: Mengues, G. Moldes para Inyección de plástico.

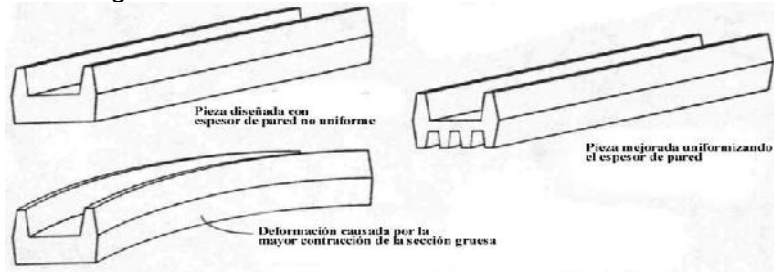
3.1.5 Contracción. La contracción es un factor de suma importancia cuando se habla de moldeado de piezas. La contracción se define como la cantidad por la cual una pieza moldeada es menor que el tamaño de la cavidad, en la cual esta es producida por la inyección de plástico, bajo alta presión y altas temperaturas. Para usos prácticos la contracción es usualmente dada en mm/mm, (in/in) o mm%, (in%).

La contracción tanto lineal como anisotrópica depende de las siguientes variables:

1. **Material (plástico).**- Materiales diferentes tienen diferentes valores de expansión de calor. Sin embargo los materiales con las mismas especificaciones físicas y químicas tendrán diferencias significativas en expansión de calor y por lo tanto en contracción
2. **Geometría del producto.**- Esto se aplica principalmente a las variaciones de espesor de pared y la forma de la superficie.
3. **Diseño del molde.**- El diseñador debe de tomar en cuenta la contracción.
.-Particularmente para el patrón de enfriamiento dentro del molde, la geometría de los canales y entrada de material.
4. **Condiciones de molde.**- Esto incluye la preparación de la máquina, temperaturas de enfriamiento del molde, presiones de inyección y sostenimiento.
5. **Tipo de máquina de molde.**- La velocidad de inyección, presiones de inyección disponibles, precisión de tiempo, el control de temperatura y presión afectan a la contracción.
6. **Condiciones de la máquina de inyección y molde.**- La contracción no puede ser evitada ya que es una característica propia del material pero debe de ser controlada para evitar problemas como:

- Deficiencias dimensionales del producto final.
- Deformación de la pieza a causa de los altos esfuerzos.
- Hundimientos en la superficie (rechupes).
- Vacíos al interior de la pieza.

Figura 18. Deformación a causa de la contracción.

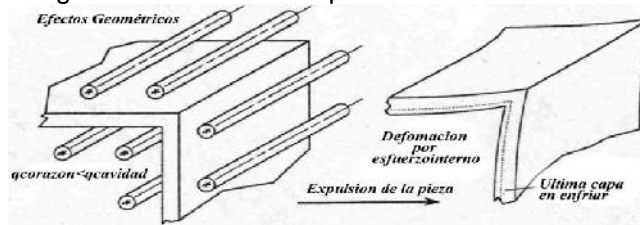


Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Para evitar estos problemas se recomienda:

- Espesores de pared uniformes en la geometría de la pieza.
- Uso de radios y redondeos en esquinas y cavidades de la pieza.
- Que no existan grandes diferencias térmicas entre la cavidad y el corazón del molde.
- Tiempos y métodos de expulsión adecuados.

Figura 19. Deformación por diferencias térmicas.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

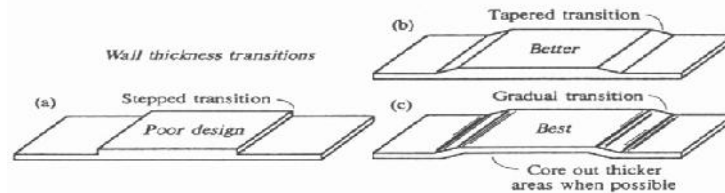
3.1.6 Espesor de pared. Es una característica geométrica de la pieza que afectará la contracción del material, particularmente cuando se moldean piezas de baja conductividad térmica (PP, PE, etc.). Es necesario diseñar piezas con espesores de pared o secciones tan uniformes como sea posible, se deben evitar secciones gruesas ya que estas ocasionan enfriamiento más lento de la sección, con respecto a secciones delgadas, causando mayor contracción.

Figura 20. Piezas de pared uniforme.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Figura 21. Mejoras a un diseño.



Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

Bajo condiciones favorables, el diseño del espesor de pared normalmente depende del material a utilizar. Sin embargo las piezas plásticas deben de ser diseñadas con el menor espesor de pared que provea los requerimientos estructurales.

Esta práctica resulta no sólo en la obtención de piezas libres de los problemas ya mencionados sino que también en economía de material y tiempos de enfriamiento más cortos dado a la rápida trasferencia de calor del material fundido a la superficie del molde. En la tabla 4, se presentan espesores de pared recomendados para distintos materiales.

Tabla 4. Espesores de pared sugeridos materiales termoplásticos

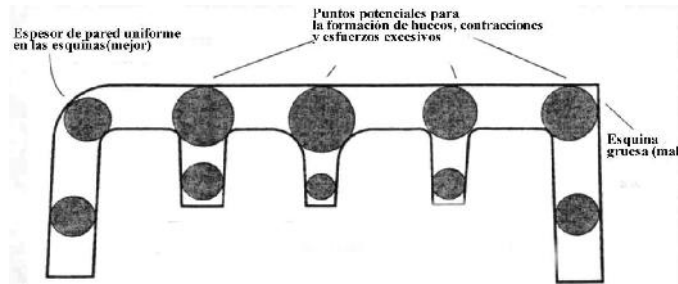
ESPESORES DE PARED P/MATS TERMOPLÁSTICOS		
Material	Esp min	Esp. Max
ABS	0,762	3,175
Acetal	0,381	3,175
Acrílico	0,635	6,350
Celulosa	6,350	4,750
Etileno Vinil Acetato	0,508	3,175
FEF fluorplastico	0,254	12,700
Ionmero	0,635	19,050
Nylon	0,381	3,175
Policarbonato	1,016	9,525
Poliestireno	0,762	6,350
Poletileno (LL)	0,406	6,350
Poletileno (HD)	0,889	6,350
Polipropileno	0,635	7,620
Polipropileno Modificado	0,762	9,525
Polisulfona	1,016	9,525
Poliuretano	0,635	38,100
PVC rígido	1,016	9,525
SAN	0,762	6,350

Fuente: Mengues, G. Moldes para inyección de plástico.

3.1.7 Uso de radios y redondeos. El uso adecuado de radios durante el diseño, reduce de un modo importante la concentración de tensiones de la pieza. Eliminar las zonas donde se producen un elevado número de concentraciones, permite realizar un

modelo de construcción más fuerte y eliminar, sin duda, posibles zonas de inicio de una fractura. En definitiva eliminando ángulos agudos en la geometría, lo que se posibilita es una más larga vida de la pieza. Por lo tanto siempre que lo permita la funcionalidad de la pieza, para realizar la transición de una pared a otra utilizaremos curvas lo más abiertas posibles.

Figura 22. Áreas potenciales de concentración de esfuerzo

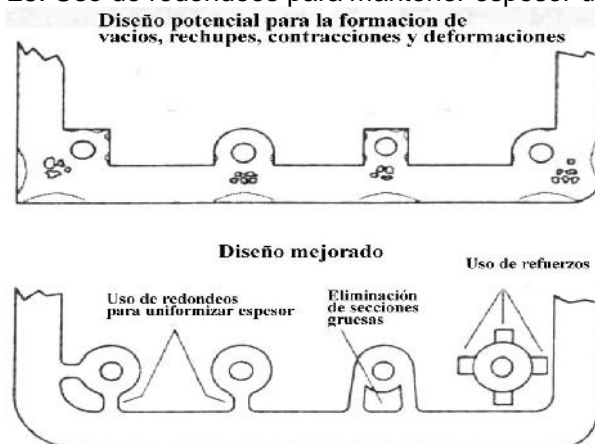


Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

El uso de radios y redondeos permite:

- Diseñar piezas con espesores de pared uniformes.
- Un flujo del material uniforme evitando llenados irregulares.
- Enfriamiento uniforme en esquinas.
- Una fácil expulsión de la pieza.
- Reducir la concentración de esfuerzos dando rigidez estructural.

Figura 23. Uso de redondeos para mantener espesor uniforme.

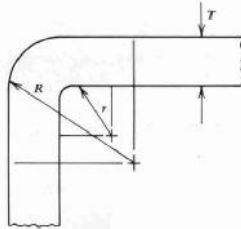


Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

El uso de redondeos debe de ser utilizado siempre que la pieza lo permita y se deben de seguir las siguientes indicaciones:

- El radio r sugerido para las esquinas debe de ser al menos $1/3 T$
- El radio r no debe de ser menor a 0.4 mm
- El radio r recomendado es de $1/2$ de T o mayor.
- El radio R debe ser de al menos $3/2 T$ o mayor.
- Se debe de mantener un espesor de pared igual entre el radio mayor R y el radio menor r .

Figura 24. Dimensiones para radios internos y externos.



Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

3.1.8 Comportamiento del plástico por presión, volumen y temperatura.

A continuación se hace mención de tres reglas sobre la contracción de plásticos. Estas reglas son:

Regla 1: Existe una relación definitiva entre la presión (P), volumen (V) y la temperatura (t). Esta relación es diferente para varios plásticos. Todas las condiciones que afecten la temperatura, la presión y el tiempo, afectarán la contracción.

Regla 2.: Cuando un volumen de plástico es calentado, éste se expande. Cuando se enfría a la temperatura original, se contraerá al volumen original.

Regla 3: Cuando un plástico es comprimido, su volumen es reducido. Cuando la presión es reducida a la presión original, éste regresará a su volumen original.

A partir de estas reglas se pueden resumir las siguientes prácticas que pueden ayudar a controlar la contracción de un plástico.

- Mientras más grande sea la diferencia de temperatura entre el plástico inyectado y la temperatura del molde, mayor será la contracción.
- Cuando la presión del plástico dentro de la cavidad es alta, ocurrirá menos contracción. Cuando la presión es menor, la contracción es mayor.
- Entre más grande sea el tiempo sostenimiento de presión de inyección en la cavidad, menor será la contracción.

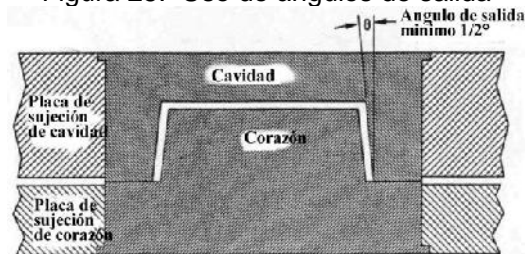
3.2 Extracción de la pieza

La extracción de la pieza es un punto crítico en el proceso de inyección. La facilidad para extraer una pieza del molde depende en gran parte de la geometría de ésta. Durante el proceso de extracción de la pieza se pueden presentar problemas como rupturas y deformaciones si la pieza no es diseñada adecuadamente para su extracción.

3.2.1 Ángulos de salida y acabado superficial. Los ángulos de salida son utilizados, para facilitar la expulsión de cualquier pieza moldeada que tenga una profundidad significativa. Los ángulos de salida se ubican en todas las superficies normales a la línea de partición del molde y por lo tanto de la pieza.

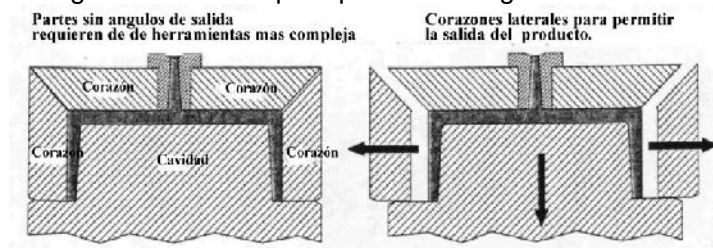
Se debe evitar el diseñar las piezas con paredes perpendiculares al plano de partición, ya que con el uso de éste tipo de paredes es necesario el ejercer grandes fuerzas de empuje para abrir el molde y para extraer la pieza, esta situación puede causar deformación o ruptura de la pieza. Sin embargo es posible el diseñar piezas sin ángulo de salida, pero estas requieren para su producción moldes más complejos y por lo tanto más caros.

Figura 25. Uso de ángulos de salida



Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

Figura 26. Moldes para piezas sin ángulos de salida.

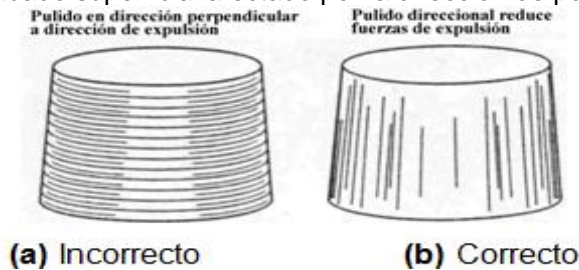


Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

El uso de los ángulos de salida debe de ser acompañado de acabados superficiales de gran calidad que permitan a la pieza deslizarse con mayor facilidad por las paredes del

molde. Los acabados deben de ser realizados direccionalmente, es decir en la dirección paralela a la salida de la pieza.

Figura 27. Acabado superficial afectado por la dirección de pulido del molde.



Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

Aunque no existen cálculos precisos o fórmulas para la determinación de los ángulos de salida, existen algunas prácticas comunes que dan buenos resultados:

- Se recomienda el usar ángulos de salida tan grandes como sea posible, limitándose tan solo a la estética o funcionalidad de la pieza.
- Se recomienda el no usar ángulos menores a $\frac{1}{2}^\circ$
- El usar mayores ángulos en las paredes internas que en las externas.

3.2.2 Ranuras y orificios. En muchas ocasiones nos encontramos con piezas que contienen en su geometría ranuras internas y externas así como orificios ya sean ciegos o pasados. La existencia de estos elementos en las piezas puede causar problemas de extracción y debilitamiento de la pieza.

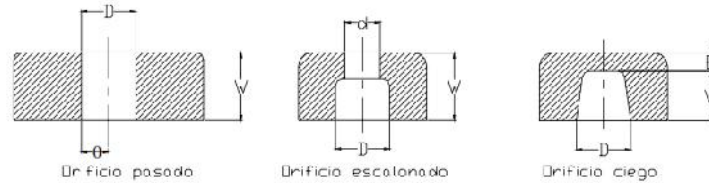
Cuando se diseñan piezas con orificios, estas se deben localizar de tal manera que se requiera el mínimo de acciones especiales para producirlos, como son:

- Acciones laterales.
- Corazones laterales.
- Corazones colapsables.
- Mecanismos de desatornillado.

Estas acciones deben evitarse siempre que sea posible ya que incrementan el precio y la complejidad del molde. Existen otras consideraciones para producir orificios que se deben de tomar en cuenta, para evitar problemas como; contracción, deformación o ruptura de punzones y corazones, algunas de ella son:

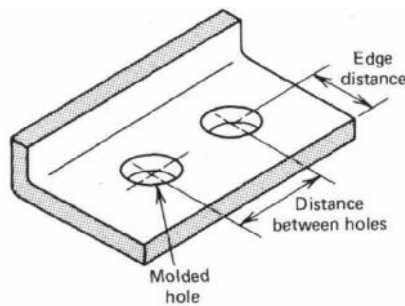
- Para orificios pasados la relación mínima $D/W=1/15$.
- Para orificios escalonados $(D+d)/W<1/3$.
- Para orificios ciegos la relación $D/W=1/3$ y $E=D/6$ mínimo.
- Usar ángulos de salida de mínimo 1° .

Figura 28. Dimensiones de orificios.



Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

Figura 29. Distancia entre paredes y orificios.



Diametro del Orificio (mm)	Mínima distancia del borde (mm)	Mínima distancia entre orificios (mm)
1.57	2.36	3.56
2.36	2.77	4.75
3.18	3.96	6.35
4.75	5.54	7.92
6.35	6.35	11.10
7.92	7.92	14.27
9.53	8.71	22.23
12.70	11.10	22.23

Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

CAPÍTULO IV

4. CAD/CAM

4.1 Diseño asistido por computador (CAD)

El término Diseño asistido por ordenador fue acuñado por Douglas Ross y Dwight Baumann en 1959, y aparece por primera vez en 1960, en un anteproyecto del MIT, titulado "Computer-Aided Design Project" [Ross93]. En aquella época ya se había comenzado a trabajar en la utilización de sistemas informáticos en el diseño, fundamentalmente de curvas y superficies. [5]

Estos trabajos se desarrollaron en la industria automovilística, naval y aeronáutica. Un problema crucial para esta industria era el diseño de superficies, que se resolvía, siempre que era factible instanciando curvas y superficies conocidas y fácilmente representables (círculos, rectas, cilindros, conos, etc.). Las partes que no podían ser diseñadas de este modo, como cascos de buques, fuselaje y alas de aviones o carrocerías de coches, seguían procesos más sofisticados.

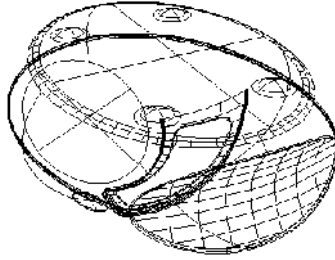
CAD representa el conjunto de aplicaciones informáticas que permiten a un diseñador "definir" el producto a fabricar. Permite al diseñador crear imágenes de partes, circuitos integrados, ensamblajes y modelos de prácticamente todo lo que se le ocurra en una estación gráfica conectada a un computador. Estas imágenes se transforman en la base de un nuevo diseño, o en la modificación de uno previamente existente. A éstas se le asignan propiedades geométricas, cinéticas, del material entre otras, mejorando así el diseño sobre papel. Se logra así una mayor velocidad en el diseño, al existir la posibilidad de corregir, encargándose el computador de recalcular el dibujo. Existen sistemas CAD especiales para aplicaciones mecánicas, electrónicas y de arquitectura, los cuales permiten una mejor interrelación con sus respectivos sistemas CAE.

4.1.1 CAD 2D. Sustitutivo básicamente del tablero de dibujo, la representación de los objetos es bidimensional; la información geométrica de que dispone el ordenador es bidimensional, es decir, está contenida en un plano. Las vistas son generadas de forma independiente y no existe asociatividad entre las mismas. Su ámbito de aplicación es muy amplio: realización de distribuciones en planta, diseño de circuitos eléctricos, electrónicos, hidráulicos y neumáticos, diseño y proyecto de líneas de

montaje, proyecto de moldes y matrices, generación rápida de planos para piezas sencillas, etc.

4.1.2 Modelado en superficies. Cuando las superficies han sido generadas correctamente, sirven como base de partida para la aplicación del CAM, CAE, generación de planos, etc.

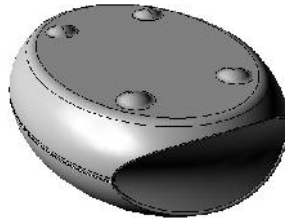
Figura 30. Modelo de superficies modo alámbrico.



Fuente: Rhinoceros. Tutoriales español.

Es posible representar un objeto sombreándolo, dándole así una apariencia realística, al mismo tiempo que oculta líneas no vistas y permite una mejor comprensión del mismo.

Figura 31. Modelo de superficies modo sombreado.



Fuente: Rhinoceros. Tutoriales español.

4.1.3 Modelado sólido. Permite definir íntegramente cualquier objeto en un ordenador. El sistema dispone de la información del modelo de superficies y además distingue el interior del exterior de la pieza. Ello permite realizar operaciones como generación de secciones de todo tipo, "montaje" de piezas en conjuntos para análisis de interferencias, campos de trabajo y movimiento, representación explosionada para esquemas de montaje, etc., así como obtención de información como volumen, centro de gravedad, momentos de inercia, etc.

Proyecciones bidimensionales del objeto o sistema: obtención de vistas, secciones, perspectivas, detalles, etc. automáticamente.

Base de datos de propiedades: materiales, tolerancias dimensionales, terminaciones superficiales, tratamientos térmicos, etc.

La tecnología CAD se dirige a los centros técnicos y de diseño de una amplia gama de empresas: sector metalmecánica, ingeniería electrónica, sector textil y otros.

El uso de la tecnología CAD supone para el diseñador un cambio en el medio de plasmar los diseños industriales: antes se utilizaba un lápiz, un papel y un tablero de dibujo.

Con el CAD, dispone de un ratón, un teclado y una pantalla de ordenador donde observar el diseño. Así, un computador, al que se le incorpora un programa de CAD, le permite crear, manipular y representar productos en dos y tres dimensiones. Esta revolución en el campo del diseño ha venido de la mano de la revolución informática.

Las mejoras que se alcanzan son:

- Mejora en la representación gráfica del objeto diseñado: con el CAD el modelo puede aparecer en la pantalla como una imagen realista, en movimiento, y observable desde distintos puntos de vista.
- Mejora en el proceso de diseño: se pueden visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias, etc. En conclusión, se optimiza el proceso de creación de un nuevo producto reduciendo costes, ganando calidad y disminuyendo el tiempo de diseño.

En resumen, se consigue una mayor productividad en el trazado de planos, integración con otras etapas del diseño, mayor flexibilidad, mayor facilidad de modificación del diseño, ayuda a la estandarización, disminución de revisiones y mayor control del proceso de diseño.

Un buen programa CAD no sólo dispone de herramientas de creación de superficies, sino también de posibilidades de análisis y verificación de las mismas, entendiendo por superficies correctas aquéllas cuyos enlaces entre ellas son continuos en cuanto a tangencia y curvatura, y sin contener zonas donde se ha perdido continuidad de curvatura.

La principal ventaja del CAD: Radica en la rapidez con que permite efectuar modificaciones en el diseño, a diferencia de lo que ocurría cuando los diseños se realizaban en papel.

Las posibilidades del sistema CAD son enormes, pudiendo realizar una amplia gama de tareas, entre las que podemos destacar:

- Visualizar en pantalla un modelo cualquiera en tres dimensiones y en perspectiva.
- Utilizar distintos colores para cada superficie.
- Eliminar automáticamente líneas y superficies ocultas.
- Rotar o trasladar la pieza.
- Calcular el volumen, superficie, centro de gravedad, inercia, etc., de cada pieza, casi instantáneamente.

4.2 Fabricación asistida por computador (CAM)

CAM implica el uso de programas computacionales específicamente diseñados para crear la geometría y caminos de las herramientas necesarias para la maquinación de las piezas. Estos caminos de las herramientas pueden entonces ser automáticamente procesados en un programa específico a ser usado por la máquina CNC. [6]

Los programas CAM agrupan las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño a especificaciones de producción.

Entre las posibilidades de aplicación CAM encontramos:

- Generación de programas de Control Numérico.
- Simulación de estrategias y trayectorias de herramientas para mecanizado del producto diseñado (partiendo de un modelo CAD).
- Programación de soldaduras y ensamblajes robotizados.
- Inspección asistida por computadora. (CAI – Computer Aided Inspection)
- Ensayo asistido por computadora. (CAT – Computer Aided Testing)

CAM es básicamente, proporcionar una serie de herramientas que permitan fabricar la pieza diseñada.

El sistema CAM también se encarga de simular el recorrido físico de cada herramienta, con el fin de prevenir posibles interferencias (Choques) entre herramientas y materiales.

Todo este conjunto de posibilidades, que proporciona la tecnología CAM, acortan de forma considerable el tiempo de mercado, evitando tener que efectuar correcciones a posteriori en las características básicas del diseño.

4.2.1 *Control numérico computacional (CNC).*

4.2.1.1 *Historia.*

- En 1947 John Parsons comienza a experimentar con la idea de generar los datos de una curva a través de un eje y usar esos datos para controlar los movimientos de una máquina herramienta.
- En 1949 la Corporación Parsons gana un contrato para investigar un método de producción acelerado.
- En 1952 el MIT (Massachusetts Institute of Technology) demuestra exitosamente un modelo de máquina de Control Numérico actual. La máquina fabrica piezas exitosamente con movimientos simultáneos de herramientas de corte a través del eje. El MIT acuña la expresión "control numérico".
- En 1955 se exhiben modelos comerciales de máquinas de control numérico para la aceptación de los usuarios.
- En 1957 el Control Numérico es aceptado por la industria. Varias ya han sido instaladas y están en uso.

4.2.1.2 *¿Qué es un sistema CNC?* El Control Numérico Computacional es el control de una máquina herramienta usando números y letras. Es un sistema en el cual los valores numéricos programados son directamente insertados y almacenados en alguna forma de medio de entrada, y automáticamente leídos y decodificados para provocar el movimiento correspondiente en la máquina que se está controlando.

Ventajas de un Sistema CNC:

- Alto grado de calidad debido a la precisión, repetibilidad y ausencia de variaciones introducidas por un operador.
- Desperdicios reducidos. Son menos probables los errores debidos a la fatiga del operador, interrupciones y otros factores.

- Inspección simplificada. Una vez que la primera pieza ha pasado la inspección, se requiere una inspección mínima en las partes subsecuentes.
- Menores costos de herramientas debido a la menor necesidad de montajes y reparaciones complejas.
- Tiempo de servicio reducido.
- Las operaciones complejas de la maquinaria se realizan más fácilmente debido al control avanzado de la máquina.

Desventajas de un Sistema CNC:

- Las herramientas de una máquina numéricamente controlada no cortan el metal tan rápido como las máquinas convencionales.
- El control numérico no elimina la necesidad de herramientas caras. Además, hay un gasto inicial mayor.
- El control numérico no elimina los errores por completo. Los operadores todavía se pueden equivocar al presionar los botones equivocados, al realizar alineaciones erradas, y fallan al ubicar las piezas adecuadamente en una montura.
- Se necesita escoger y entrenar a programadores y a personal de mantención.

4.2.2 Equipamiento CNC.

4.2.2.1 Máquinas fresadoras CNC. Las máquinas CNC Fresadoras usan un cortador rotatorio para el movimiento de corte y un movimiento lineal para la alimentación. El material es empujado en el cortador, o el cortador es empujado al material, en caminos rectos o curvos tridimensionales, para producir los elementos deseados de una pieza. La pieza terminada es creada mediante la remoción de todo el material innecesario desde la pieza de trabajo. Este proceso se denomina fresado.

4.2.2.2 Tornos CNC. Los Tornos CNC rotan la pieza de trabajo en contra de un único punto de una herramienta para producir movimiento de corte. La herramienta se alimenta a lo largo o en la pieza de trabajo para producir el movimiento de alimentación. El maquinado de una pieza en un torno se denomina Giro.

4.2.2.3 Centros de maquinado CNC. Los centros de maquinado son máquinas CNC más sofisticadas que frecuentemente combinan las tecnologías de fresado y torneado.

4.2.2.4 Máquinas EDM CNC. Una Máquina de Descarga Eléctrica (*Electrical Discharge Machine*, EDM) usa chispas eléctricas para hacer una cavidad en una pieza de metal. Este proceso requiere de un electrodo, una fuente de poder, un tanque, y enfriador. La pieza de trabajo se conecta a un lado de la fuente de poder y se coloca en el tanque. El electrodo, construido en la forma de la cavidad deseada, se conecta al otro lado de la fuente de poder. El tanque se llena con enfriador, este enfriador es un material dieléctrico. Un dieléctrico opone una resistencia al flujo de la electricidad. Se baja el electrodo hasta que una chispa salta entre el electrodo y la pieza de trabajo. Cuando la chispa salta, la calidad dieléctrica del enfriador ha sido superada. La chispa libera pequeñas partículas de material que son eliminadas por el enfriador.

4.2.3 Operación y programación de máquinas herramientas CNC.

4.2.3.1 Prerrequisitos para operar máquinas CNC

- Lectura de planos.
- Instalación y montaje de una pieza de trabajo.
- Familiaridad con las operaciones de la máquina, velocidades de corte, tasas de alimentación y profundidad de corte.
- Familiaridad con la máquina que está siendo programada; sus características de operación general; entrada de datos por cinta, disco flexible o red; y el panel de operación de control de la máquina.
- Comprensión de operaciones computacionales básicas, programación CNC y traducciones de datos.

4.2.3.2 Montaje de fijaciones. Una fijación es un accesorio de fresadora, sostiene y soporta firmemente la pieza de trabajo de manera tal que las operaciones de maquinado puedan ser realizadas correctamente.

Figura 32. Bridas de sujeción.



Fuente: <http://www.maquinariamacias.com/productos.php?cat=27&mod=130>

4.2.3.3 Herramientas que producen distintas geometrías. A continuación, algunas herramientas que se pueden usar para funciones específicas en una máquina CNC.

Figura 33 Herramientas para fresado.



Para taladrar.



Para torneear.



Para fresado



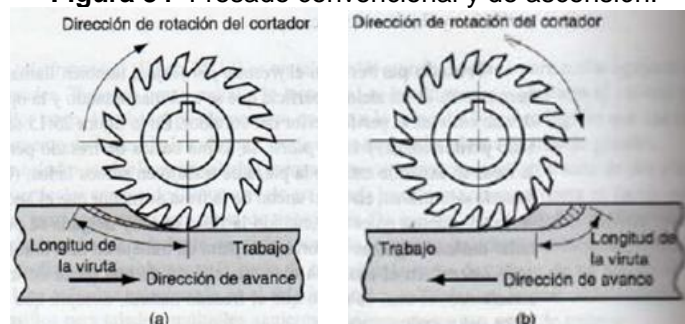
Herramientas varias

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/big-daishowa/porta-herramientas-con-cono-morse-33258-440434.html>

Fresado convencional.- El fresado convencional o "hacia arriba" es cuando la pieza de trabajo es alimentado en la rotación del cortador. Los trozos son de espesor mínimo al inicio del corte y tan ligeros que la herramienta tiende a deslizarse sobre el trabajo. (Figura 34a).

Fresado de ascensión.- El fresado de ascensión o de descenso es aquel en el cual la pieza de trabajo se mueve en la misma dirección que la rotación de la herramienta de corte. El enganche completo de la herramienta es instantáneo (Figura 34b).

Figura 34 Fresado convencional y de ascensión.



Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

4.2.3.4 Parámetros de corte. En las tablas de los fabricantes se proporcionan las

Velocidad de corte.- Es el camino recorrido por fijo de un diente de fresa en metros o pies por minuto.

$$V_c = \frac{f * D * N}{1000} (m / \text{min}) \quad (1)$$

Donde:

: 3.1416

D: Diámetro de la Fresa en mm.

N: RPM de la Fresa.

Como las velocidades vienen dadas en tablas, no es necesario calcularlas, por ende lo que nos interesa conocer son las revoluciones por minuto a la cual debe girar la fresa para realizar el corte de material determinado.

$$N = \frac{V_c * 1000}{f * D} (RPM) \quad (2)$$

Avance o desplazamiento de la mesa.- Dado en mm/min en sentido longitudinal, transversal o vertical, depende de:

- a) La fresa.
- b) Material de la pieza.
- c) La profundidad de corte (este influye en el avance y viceversa).
- d) Calidad de la superficie deseada (tipo de acabado).
- e) La potencia de la maquina.
- f) Sujeción de la pieza.

Y se calcula de la siguiente manera:

1. Primero se calcula las RPM.
2. Calcular la potencia efectiva de la máquina (Pe).- Esta potencia es igual al 70% de la potencia teorica (P), debido al rozamiento, desplazamiento de las poleas, etc. Las unidades para indicar la potencia es Kw (kilowatt).

$$P = \frac{V * I}{1000} (Kw) \quad (3)$$

$$P_e = \frac{P * 70}{100} (Kw) \quad (4)$$

Donde:

P: Potencia teórica en Kw.

V: Voltaje (V).
 I: Corriente en (Amp).
 P_e: Potencia efectiva en Kw.

El avance por minuto.- Se calcula en función del avance por diente (S_z), el número de dientes de la fresa (z) y el número de revoluciones de esta.

El avance por diente.- Es el desplazamiento de la mesa por cada diente de la fresa. Su valor no debe ser menor a 0.02mm ni mayor a 0.2mm; Se elige de acuerdo a la calidad de superficie deseada, la dureza del material trabajado, la sujeción de la pieza, etc.

$$\frac{Avance}{min} = S_z * z * N \quad (5)$$

Donde:

S_z: Avance por diente.

z: Número de dientes de la fresa

El volumen Máximo (Vm).- Es la cantidad máxima de viruta en cm³ por Kw de potencia que puede desprender la maquina en un minuto.

$$Vm = Va * Pe(cm^3 / Kw) \quad (6)$$

Donde:

Va: Volumen Admisible

P_e: Potencia efectiva en Kw.

El volumen admisible viene dado en tablas, en la siguiente tabla se muestra el Va en cm³ por Kw/min para fresas frontales hasta 20% más.

Tabla 5. Volumen admisible de viruta.

Material	Volumen admisible (cm ³)
Acero Dulce	12-15
Acero semiduro	10-14
Acero duro	9-12
Acero altamente aleado	6-8
Fundición gris	15-20
Latón	28-40
Aluminio	40-70

Fuente: Gonzales de Cabañes, Antoni. Diseño de piezas de plástico para inyección.

Nota: El volumen admisible es la cantidad de viruta en cm^3 que puede desprender la máquina por cada Kw de potencia en un minuto.

Profundidad de corte.- Se calcula en función de V_m y del avance por minuto (avance/min).

$$a = \frac{V_m * 1000}{b * A_{\min}} \quad (7)$$

Donde:

- a: Profundidad de corte.
- V_m : Volumen máximo en cm^3 Kw/min.
- b: Ancho de la fresa.
- A_{\min} : Avance por minuto.

Nota: Para dar la profundidad de corte en la máquina, tomamos el 80% de la profundidad dada por el cálculo.

4.2.3.5 Programación de la máquina CNC.

1. Planificación del Programa.

Lectura de Planos.- La lectura de planos es una habilidad básica en la industria de la manufacturación, algo que todos los ingenieros, gerentes, programadores y operadores de CNC, maquinistas e inspectores, deben conocer.

Elección de la máquina adecuada.- Para la elección de una máquina adecuada, se debe considerar lo siguiente:

- El ambiente de cada máquina (área de trabajo).
- Las opciones de cada máquina (fresado, taladrado, etc.)
- Herramientas de corte, velocidades de giro, tasas de alimentación.
- Montaje de fijaciones.
- Operaciones de la máquina: Ajuste, instalación y ejecución de programas.

Hoja de Operaciones.- La hoja de operaciones, es usada para describir los procesos necesarios para maquinar una pieza en la máquina CNC.

Cada proceso se escribe en la secuencia adecuada de maquinación e incluye la herramienta a ser usada y todos los datos de corte. [8]

Tabla 6. Ejemplo de hoja de operaciones.

Hoja de Operaciones					
Máquina: Electro -LI2		Pieza de Trabajo: placa-1		Nombre / Fecha: Miguel Escobar 10/11/2012	
Paso #	Descripción	Herramienta #	Tasa de alimentación ("/minuto)	Profundidad de Corte (")	Velocidad de Giro (r.p.m.)
1	Fresado básico de la placa	1	25	0.5	500
2	Fresado final de la placa	2	12	0.5	750
3	Centrar para taladrar 4 agujeros	3	15	0.125	2500
4	Taladrar 4 agujeros	4	12	0.75	1000

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/HOJA%20DE%20PROCESOS.htm>

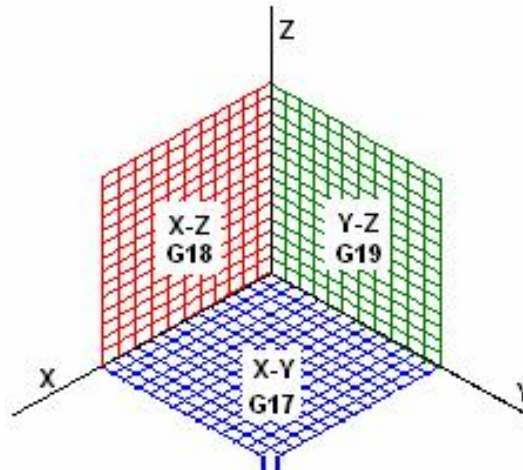
Requerimientos de herramientas.- Los requerimientos y elección de herramientas se basan en restricciones de las piezas y en prácticas de la industria manufacturera.

Muchas de estas ideas son cuestiones de sentido común. Los buenos programadores y operadores CNC deben tenerlas en cuenta.

- Conocer las características del material a ser maquinado.
- Usar un catálogo de herramientas industrial típico para bajar costos.
- Hacer uso de los servicios técnicos ofrecidos por los fabricantes de herramientas.
- La calidad de la fijación deberá basarse en el número de piezas que, eventualmente serán producidas.
- Siempre se debe usar la herramienta correcta para la correcta operación de la máquina.
- Mantener herramientas de reemplazo y de repuesto para el evento de que sea necesario afilar una herramienta o si la herramienta se rompe.
- Mantener una variedad de herramientas para el caso de que un tipo no realice el trabajo como se desea.
- Usar herramientas de acero de alta velocidad sobre materiales de fácil maquinación.
- Usar herramientas de carbono en materiales de corte difícil.
- Considere el uso de escariadores, en lugar de brocas, en aplicaciones con taladro en donde la viruta y el control de trozos puede ser un problema.
- Tenga en cuenta la flexión que ocurre al usar herramientas largas. Es posible que se necesiten pasadas extras para eliminar rayas y virutas.

2. *Planos de construcción.* Los códigos para los planos de construcción son G17(XY), G18(XZ), y G19(YZ). El Movimiento de la Herramienta debe ocurrir paralelo a uno de estos planos, por defecto se considera el plano G17 (XY).

Figura 35 Planos de Construcción CNC.



Fuente: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>

3. Sistemas de unidades y modos de Entrada

Los Sistemas de Unidades son las unidades de medición que se usan en un programa CNC. Todas las máquinas entienden las unidades Métricas (milímetros, mm) y las Inglesas (pulgadas, "). Hay que indicarle a la máquina CNC que unidades se están utilizando. Algunas máquinas vienen ajustadas de fábrica a pulgadas o a milímetros. Normalmente al inicio de un programa CNC verá eso; G70 especifica pulgadas y G71 especifica milímetros.

Los Modos de Entrada se refieren al tipo de información coordenada que se ingresa al programa de la máquina CNC. Hay dos tipos:

- Entrada Absoluta, diseñada para el código G90, especifica la distancia desde el origen o punto cero del programa. El modo Absoluto es el más común.
- Entrada Incremental, designada por el código G91, especifica las distancias y direcciones usando el punto previo como un origen. La entrada incremental a veces se denomina punto-a-punto. Todos los sistemas CNC pueden conmutar desde el modo absoluto al incremental y viceversa, ilimitadas veces en un programa.

4. Códigos de programación. [9]

Tabla 7. Descripción del código de letras.

N	Número de Secuencia
G	Funciones Preparatorias
X	Comando del Eje X
Y	Comando del Eje Y
Z	Comando del Eje Z
R	Radio desde el Centro Especificado
A	Ángulo contra los punteros del reloj desde el vector +X
I	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje X
J	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje Y
K	Desplazamiento del Centro del Arco del Eje Z
F	Tasa de Alimentación
S	Velocidad de Giro
T	Número de la Herramienta
M	Función Miscelánea

Fuente: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>

Números de secuencia.- El Número de Secuencia, también llamado código N, es el número de identificación del bloque (línea) en un programa CNC. La palabra de código común utilizada comienza con N. N es el primer código en un bloque y normalmente tiene un rango N1 hasta N9999. Muchas CNC no requieren el uso de códigos N lo cual ayuda a liberar memoria. Sus principales beneficios son el que permiten la búsqueda fácil en programas largos y la capacidad de volver a hacer partir un programa en casi cualquier número de línea. Usualmente el programador saltará N números entre bloques para dejar espacio para insertar posteriormente bloques olvidados o adicionales. Por ejemplo N5, N10, N15, etc.

Funciones preparatorias.- Las Funciones Preparatorias son los códigos G. Los Códigos G son indicados por la letra G y un número de 2 dígitos. Estos códigos son las funciones más importantes en programación CNC debido a que dirigen el sistema CNC para el procesamiento de los datos de coordenadas en una manera particular. Algunos ejemplos son: transversal rápido, interpolación circular, interpolación lineal, y taladrado. Los códigos son algo casi estandarizado en la industria.

Funciones misceláneas.- El código M se usa para funciones misceláneas tales como el control del líquido enfriador, conexión y dirección del mandril, rebobinado, y fin del programa. Los códigos M van desde M00 a M99. Son asignados por el constructor de la máquina, pero existe alguna estandarización.

Ciclos especiales.- Los ciclos especiales o ciclos grabados, son secuencias pre programadas de movimientos repetitivos de la herramienta, que están insertos en el sistema de control para operaciones comunes tales como taladrado, golpe, ampliado y envoltura (pocketing).- Su propósito es reducir la cantidad de códigos de programa que normalmente se debería escribir. Los ciclos grabados son códigos G que son opciones adquiridas con una CNC, pero algunos son equipamiento estándar, dependiendo del fabricante.

Códigos especiales.- Los códigos especiales se usan para realizar funciones en los controles de la CNC y aumentan la capacidad de los programadores para escribir programas inteligentes. Muchos de estos códigos son estándar en las CNC actuales, los otros pueden ser opcionales. Los constructores de máquinas ajustan estos códigos pero existe alguna estandarización.

Para ver más información hacer referencia a anexo A.

5. Consideraciones de programación.

- Desarrolle un estilo de programación que pueda ser usado por todos los programadores en su instalación.
- Lea los programas en busca de errores tipográficos antes de enviarlos al taller.
- Mantenga los programas tan simples como sea posible para realizar las funciones deseadas.
- Este atento a los códigos modales y a los no modales. Los Modales son los comandos que se mantienen activos hasta que los cancela otro código. Esto le permite no tener que repetirlos, línea tras línea, para las tareas repetitivas tales como taladrado, ampliación de un agujero, etc.
- Elija alimentaciones y velocidades que signifiquen un balance entre la vida de la herramienta y cortos ciclos de tiempo.
- Use su experiencia previa y la de otros para elegir tasas de alimentación, velocidades y profundidad de corte. Pero no haga suposiciones.
- La optimización del ciclo de tiempo se logra una vez que el programa ha comenzado a producir piezas dimensionalmente aceptables.
- Un ciclo de tiempo completamente optimizado puede pensarse como uno que produce el mayor número de piezas terminadas por día.
- “Error en el lado de la precaución”. En programación CNC este término se usa para un grado extra de seguridad. Tal como los ciclos de terminación más largos, distancias de lanzamiento más altas y planos de maniobra, tasas de

alimentación más lentas y profundidades de corte más leves. Normalmente esta práctica debería usarse en un programa nuevo. Y posteriormente, deberían ser optimizados.

4.2.3.6 Comunicaciones y transferencia de datos.

Cinta Perforada.- Un perforador de cintas produce agujeros en papel, mylar, o material delgado de manera tal que representa un conjunto particular de datos. La geometría estándar para este tipo de medios es EIA RS-227. Se utiliza un teletipo en los programas CNC. Al escribir el código, una máquina perforadora produce la cinta perforada.

Disquetes.- Los disquetes son usados para el almacenamiento y transferencia de datos de una máquina a otra. A veces permiten transferir programas a las máquinas CNC.

RS232.- Es un conjunto de estándares que especifican varias características eléctricas y mecánicas para la interfaz (comunicación) entre computadores, terminales y módems. El conector tradicional tiene 25 pines pero algunos computadores tienen un conector más reciente que usa tan sólo 9 pines.

Algunas CNC se conectan vía RS232 a computadores para el ingreso de datos del programa. Estos sistemas aceptan disquetes y transfieren los programas directamente a la CNC elegida, eliminando la necesidad de cinta perforada o ingreso manual de datos.

Redes.- Las redes son grupos de computadores que pueden comunicarse entre si y compartir datos, archivos, programas y operaciones. Muchas máquinas CNC están conectadas a algún tipo de red. Esto puede eliminar la necesidad de cinta perforada, disquetes y MDI. También permite la creación de la parte del programa en la estación de trabajo CAD / CAM del diseñador / programador. Posteriormente el archivo puede ser enviado electrónicamente a la CNC para la maquinación.

Ingreso Manual de Datos.- El Ingreso Manual de Datos es una función del control de la máquina CNC que permite el ingreso de instrucciones del programa directamente en la memoria de la máquina.

4.2.3.7 Ajustes y preparación de la máquina CNC.

Partida o Encendido.- Dependerá de cada máquina. Usualmente hay un interruptor principal o un diferencial y además hay un sistema de emergencia para detener la

máquina en caso de peligro. Algunas máquinas requieren presión de aire o usan sistemas hidráulicos.

Posición HOME (de inicio).- Muchas máquinas CNC tienen una posición HOME o de inicio, la cual permite al control y a la máquina tener una posición de cero previa para todos los ejes. Después de la partida, la máquina debe ser enviada a esta ubicación antes de poder comenzar a trabajar. Esta posición cambiará posteriormente a una ubicación más apropiada para la maquinación de una pieza particular.

Corrección del Largo de la Herramienta.- Este valor (TLO) es la distancia desde la punta de la herramienta en el mandril, en la posición de inicio, al plano Z0. Depende de cada herramienta, puede ajustarse usando una medición de la altura, una herramienta de referencia, la ubicación de la fijación, o sobre el material a ser maquinado. Una vez que los valores han sido determinados, son almacenados en el controlador para su uso durante la operación del programa.



Fuente: <http://www.google.com.ec/Corrección del largo de la herramienta>

Una forma más eficiente de ajustar el valor TLO, consiste en medir desde el mandril a la punta de cada herramienta. Este es un mejor método debido a que sólo se requiere ajustar los valores una vez, sin importar el tipo y tamaño de cada pieza a fabricar. Por cierto, la rotura o el reemplazo de las herramientas, requiere un nuevo ajuste del TLO individual al usar cualquier método.

Ajustando el origen de una pieza.- En una máquina CNC esto es básicamente lo mismo que en una máquina convencional. Implica el posicionamiento de los ejes a un punto que los planos o el programador indican como el origen. Muchas formas son utilizadas para ubicar esta posición sobre el trozo de material, la fijación o punto de referencia. El ajuste de la pieza en el banco de montaje requiere de herramientas, tales como paralelas, bridas de sujeción, etc. Se debe ser muy cuidadoso para ubicar

el material a nivel y tan firmemente como sea posible para producir un ajuste rígido que reducirá el ruido, incrementará la seguridad del operador, y producirá piezas de calidad superior.

Carga del programa.- También esto depende de cada máquina. Algunas máquinas incorporan lectores de cintas para el ingreso de los programas en la memoria de la CNC. Otras máquinas puede que tengan disqueteras internas o externas o incluso puede que estén conectadas en red.

Procedimiento de cambio manual de herramientas.- Algunas máquinas requieren que el operador cambie las herramientas manualmente entre las operaciones de maquinado. Luego de completar una operación de maquinado, el programa moverá los ejes a la posición de cambio de herramientas e indicará la siguiente herramienta necesaria. El operador debe remover la herramienta actual y reemplazarla con la siguiente herramienta.

4.2.3.4 Reglas de seguridad.

- SIEMPRE use protección para sus ojos.
- SIEMPRE use protección para los oídos.
- Maneje con cuidado herramientas y piezas con bordes afilados para evitar heridas.
- Las herramientas de corte deben asegurarse firmemente en la máquina para evitar cualquier movimiento durante la operación de corte.
- Asegure su ropa suelta.
- Use una brocha para remover residuos de la máquina. Nunca use sus manos.
- Use manga corta o arremánguese la camisa sobre el codo.

Figura 37.Reglas de seguridad



Fuente: <http://periodico.sena.edu.co/transferecia/noticia.php?t=en-worldskills-americas-colombia-participara-en-20-habilidades-tecnicas&i=820>

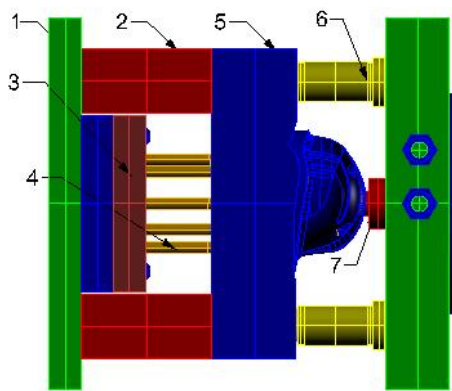
CAPÍTULO V

5. DISEÑO Y CÁLCULO DEL MOLDE CASCO DECORATIVO.

5.1 Selección de materiales para construcción del molde

Para la construcción del molde, debemos seleccionar adecuadamente el material que cumpla con las propiedades mecánicas necesarias para alta producción. De esta manera mencionaremos los aceros más idóneos para la manufactura del molde.

Figura 38. Porta molde casco decorativo



Fuente: El autor.

En la tabla 8 se presenta la descripción y material típico utilizados para la construcción de moldes, como base para empezar los cálculos de diseño.

Tabla 8. Descripción de partes y materiales.

Descripción de partes y materiales		
Número	Descripción	Material
1	Placas de montaje	AISI 1010
2	Paralelas	AISI 1010
3	Placas de expulsión	AISI 1010
4	Expulsores	AISI 01/DF2/ acero plata, templado en aceite
5	Placas núcleo, cavidad	SISA P20/M238
6	Guías y camisas	AISI 01/DF2, templado en aceite
7	Buje de colada	AISI 01/DF2, templado en aceite

Fuente: El autor.

AISI P20.- Es un acero aleado al cromo – níquel – molibdeno, desgasificado en vacío, que se suministra templado y revenido con alta pureza y uniformidad ofreciendo las siguientes ventajas: [10]

- Sin riesgo de temple y ahorro de divisas por este proceso.
- Ahorro de tiempo.
- Las modificaciones se efectúan fácilmente.
- Pueden nitrurarse para mejorar resistencia al desgaste.
- Acepta temple a la llama. Pudiendo reducir los daños de la superficie.

Entre sus características tenemos:

1. Excelentes aptitudes para el pulido y elaboración de fotograbados.
2. Buena maquinabilidad.
3. Alta pureza y homogeneidad propagadas con ultrasonido en el 100%

Entre sus principales aplicaciones tenemos:

- Moldes de gran tamaño, donde el tratamiento térmico, resulta muy difícil y riesgoso.
- Moldes de inyección para termoplásticos.
- Moldes de extrucción para termoplásticos.

Para ver los datos en detalle hacer referencia a anexo B.

Tabla 9. Características del AISI P20.

ANÁLISIS TÍPICO %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
718	0.37	0.30	1.40	2.00	1.00	0.20
AISI/SAE P20	0.35	0.20-0.40	0.20-0.40	1.70	--	0.40

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	P20
W.Nr	1.2738, (1.2311 mejorado)
UNE	F-5303
AFNOR	35CND7
UDDEHOLM	IMPAX SUPREME

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 310 HB

Temperatura °C	20	200
Densidad kg/m³	7800	7750
Módulo de elasticidad N/mm²	205000	200000
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20°C	—	12.7x10 ⁻⁶

Fuente: Iván Bholer. Aceros para moldes.

Acero Plata.- Acero al manganeso – cromo – tungsteno, templable en aceite para uso genera. Apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frio. Buena maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple y revenido. Suministrado a 190HB aproximadamente, rectificado, con acabado brillante y tolerancias estrechas (ISO-h8). Entre sus aplicaciones tenemos: Guías, botadores, punzones, etc.

Tabla 10. Características del acero plata.

ANÁLISIS TÍPICO %						
	C	Si	Mn	Cr	W	V
ASSAB DF2	0.90	--	1.20	0.50	0.50	0.10
AISI/SAE 01	0.85-0.95	0.20-0.40	1.00-1.30	0.40-0.60	0.40-0.60	0.20

EQUIVALENCIAS		CARACTERÍSTICAS FÍSICAS A 62 HRC			
AISI/SAE	01	Temperatura °C	20	200	400
DIN	100MnCrW4	Densidad kg/m³	7800	7750	7700
W.Nr	1.2510	Módulo de elasticidad N/mm²	190000	185000	170000
UNE	F-5220	Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	—	11.7x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶
UDDEHOLM	ARNE				

Fuente: Iván Bholer. Aceros para moldes.

AISI 1010.- Acero con bajo contenido de carbono según la norma SAE, por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para estructuras de baja resistencia. Se recomienda el uso de este acero para la construcción de moldes por sus propiedades mecánicas y por su costo accesible. Siendo utilizado para las placas porta moldes y porta machos.

Tabla 11. Características AISI 1010.

CARACTERÍSTICAS GENERALES		APLICACIONES				
<ul style="list-style-type: none"> Acero Estructural de bajo Carbono Alta ductilidad Excelente Soldabilidad 		<ul style="list-style-type: none"> Acero de gran aplicación como Acero Estructural en la fabricación de tuberías estructuras metálicas soldadas, etc. Se aplica también como Acero de Construcción de maquinarias cuando está endurecido superficialmente mediante tratamientos de cementación o Carbonitrurado seguido de Temple y Revenido. También se aplica en estado cementado o Carbonitrurado como Acero de Construcción de Máquinas. 				
NORMAS EQUIVALENTES		RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
AFNOR (Fr)	XC 10	CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESE
BS (Ing)	040X10	C	S	P	Si	Mn
DIN (Ale)	10301	0.08 - 0.13	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.15 - 0.35	0.30 - 0.60
JIS (Jap)	S10C					
UNI (Ital)	C10					
Grado Thyssen	XC 10					
		CRONO	NIQUEL	MOLEBDENO	WANGIO	TUNGSTENO
		Cr	Ni	Mo	V	W
		—	—	—	—	—

Fuente: Iván Bholer. Aceros para moldes.

5.2 Análisis de resistencia mecánica

Los moldes de plástico son capaces de producir piezas de la forma deseada cuando son satisfactoriamente diseñados y contruidos. Es muy importante que un molde sea diseñado para ser montado y asegurado en una máquina de Inyección con capacidad suficiente, que pueda usar el sistema de enfriamiento, el sistema de expulsión y otros sistemas de ser requeridos.

A continuación se detalla la información necesaria de la máquina de Inyección, para iniciar cualquier diseño de un molde.

- Planos de los Platos de montaje.
- Distancia entre barras guía.
- Máximo y mínimo espesor posible de un molde (carrera de cierre y apertura).
- Diámetro del agujero localizador.
- Capacidad de inyección (gramage).
- Fuerza de cerrado.
- Fuerza de apertura.
- Presión de inyección.
- Descripción y planos del sistema expulsor.

Para ver los datos en detalle hacer referencia a anexo C.

Las consideraciones iniciales para el diseño del molde se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Consideraciones de diseño para moldes.

Consideración	Casco decorativo
Volumen de material a inyectar	30cm ³
Presión de inyección de la máquina	236MPa/2408bar
Gramaje de material a inyectar	27gr
Presión de inyección	10MPa /100Bar
Área del molde	383.76cm ² / (15.6x24.6)cm ²
Deformación máx. permisible molde	0.01mm
Peso del molde	50Kg

Fuente: El autor.

El diseño se hará previniendo el caso más crítico, además se diseñará sobre la base de una deformación permisible y no basándose en resistencia. Lo anterior se sustenta

en el hecho de que el molde debe comportarse de tal forma que la pieza no sufra cambios en la geometría esperada durante ninguna de las fases del proceso.

5.2.1 Placas de montaje fija y móvil. El método elegido es el uso de la teoría de placas, este es un método aproximado pues las condiciones de apoyo en el molde no corresponden exactamente con las condiciones supuestas para las fórmulas empleadas. Se eligieron los casos más próximos a la realidad empleando la siguiente fórmula para deflexión máxima en el centro de una placa.

$$u_{\max} = \frac{KwL^4}{Et^3} \quad (8)$$

Donde:

- max: Máxima deflexión en el centro de la placa (m).
- W: Fuerza aplicada por unidad de área (Pa).
- L: Largo de la pieza (m).
- E: Módulo de elasticidad (GPa).
- t: Espesor de la placa (m).
- K: Factor de condición de soporte de la placa.

Despejando el espesor t de la ec. (8) resulta:

$$t = \sqrt[3]{\frac{KwL^4}{Eu_{\max}}} \quad (9)$$

La fuerza aplicada por unidad de área (w), viene a ser la presión de inyección de la maquina. Entonces $w=10\text{MPa}$

El factor de condición de soporte de la placa (K) es igual a 0.026

Largo de la pieza es 0.22m

Sustituyendo en ec. (9) se tiene:

$$t = \sqrt[3]{\frac{0.026 \times 10\text{MPa} \times (0.22\text{m})^4}{200000\text{MPa} \times 0.0001\text{m}}}$$

$$t = 0.0165\text{m}$$

5.2.2 Paralelas. La forma en que trabajan estas barras se aproximó a una viga simplemente apoyada en sus extremos con carga uniformemente distribuida a lo largo de ellas. La fórmula para flexión máxima se muestra a continuación:

$$u_{\max} = \frac{5WL^3}{384EI} \quad (10)$$

Donde:

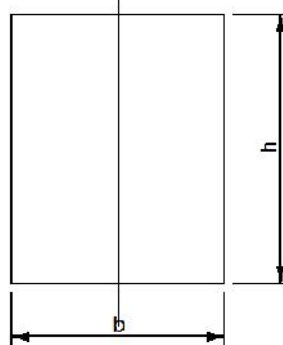
- max: Máxima deflexión en el centro de la viga (m).
- W: Carga total aplicada (N).
- L: Largo de la viga (m).
- E: Módulo de elasticidad (GPa).
- I : Momento de inercia que resiste la deflexión (m^4).

Despejando el momento de inercia

$$I = \frac{5WL^3}{384Eu \max} \quad (11)$$

El momento de inercia para una viga de sección rectangular respecto al eje neutro, y para un espesor de 35mm entonces se tiene:

Figura 39. Momento de inercia X-X



Fuente: El autor.

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.035h^3}{12} \quad (12)$$

En la ec. (11) y (12) se tiene la siguiente igualdad:

$$I = \frac{5WL^3}{384Eu \max} = \frac{0.035h^3}{12} \quad (13)$$

Por lo que la altura h de la barra se calcula a partir de:

$$h = \sqrt[3]{\frac{60WL^3}{7.296Eu \max}} \quad (14)$$

La carga total aplicada

$$P_{maq} = \frac{W}{A_{mold}} \quad (15)$$

Donde:

P_{maq} = Presión de la máquina=presión crítica

W = Carga total aplicada (N)

A_{mold} = Área del molde.=294.8cm²=0.02948m²

Despejando y reemplazando en la ec. (15) se tiene:

$$W_{Total} = P_{maq} \times A = 10MPa \times 0.02948m^2 = 294800N$$

De modo que la carga total aplicada va a estar soportada por dos paralelas simétricas, entonces la carga se divide para dos.

$$W_{paralela} = 294800N / 2 = 147400N$$

Reemplazando en la ec. (14) se encontró:

$$h = \sqrt[3]{\frac{60 \times 147400 \text{ N} \times (0.22 \text{ m})^3}{7.296 \times 200 \text{ GPa} \times 0.0001 \text{ m}}} = 0.086 \text{ m} = 86 \text{ mm}$$

5.2.3 Sistema de expulsión. Se considera a este elemento como una columna.

Calculando el momento de inercia se tiene:

$$I = \frac{fD^4}{64} = \frac{fx(0.006 \text{ m})^4}{64} = 6.36 \text{ E} - 11 \text{ m}^4 \quad (16)$$

Calculando el radio de giro:

$$r_{\text{giro}} = \sqrt{\frac{I}{\text{Area}}} = \sqrt{\frac{I}{\frac{fD^2}{4}}} = \sqrt{\frac{6.36 \text{ E} - 11 \text{ m}^4}{\frac{f(0.006)^2}{4}}} = 1.5 \text{ E} - 3 \text{ m} \quad (17)$$

Se considera que trabaja como una columna fija empotrada entonces se tiene un factor de columna $K=0.65$, por lo que la longitud efectiva es:

$$L_e = KL = 0.65 \times 116 \text{ mm} = 75.4 \text{ mm}$$

$$\text{Área} = 2.83 \text{ E} - 5 \text{ m}^2$$

Calculando la razón de esbeltez

$$R_e = \frac{L_e}{r_{\text{giro}}} = \frac{0.0754 \text{ m}}{1.5 \text{ E} - 3 \text{ m}} = 50.3 \quad (18)$$

Calculando la relación de esbeltez de columna para un acero AISI 4340.

$$C_c = \sqrt{\frac{2f^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2f^2 200 \text{ GPa}}{207 \text{ MPa}}} = 138 \quad (19)$$

Puesto que $R_e > C_c < 200$, entonces utilizamos la ecuación de Jhonson.

$$P_{cr} = AS_y \left\{ 1 - \frac{S_y^2}{4f^2 E} \right\} = 2.83 \text{ E} - 5 \text{ m}^2 \times 207 \text{ MPa} \left\{ 1 - \frac{207 \text{ MPa} \times (50.3)^2}{4f^2 \times 200 \text{ GPa}} \right\} = 5.28 \text{ kN} \quad (20)$$

Usando un factor de seguridad $N=2$ la carga aceptable es:

$$P_a = P_{cr} = 2.6 \text{ kN c/expulsor}$$

Y como tenemos 9 expulsos, entonces tenemos:

$$P_a = 23.4 \text{ kN.}$$

Dado que la fuerza de extracción máxima de la maquina es:

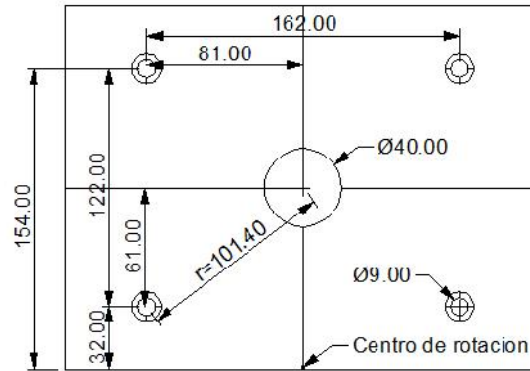
$$F_{\text{exp}} = 22 \text{ kN (ver anexo A)}$$

Se puede concluir que el perno no fallara ya que:

$$F_{\text{ext}} = 22 < P_a = 23.4 \text{ kN}$$

5.2.4 Pernos sometidos a corte. A continuación se calcula la máxima fuerza que soporta los pernos sometidos a corte que sujetan el molde con la máquina de inyección, los mismos que va a estar sujetos a tracción y corte parámetros que debemos tomar en consideración para los cálculos respectivos.

Figura 40. Distribución de pernos de la placa de respaldo, parte móvil.



Fuente: El autor.

Como se muestra en la figura anterior la distancia desde el centroide hasta el centro cada perno es:

$$r = 101.4\text{mm.}$$

Los pernos van a estar sometidos al peso que ejerce el molde, el peso total del molde está comprendido por el peso de la parte móvil y el peso de la parte fija, como se detalla a continuación:

$$W_f = 20\text{kg} = 196\text{N}$$

$$W_m = 30\text{Kg} = 294\text{N}$$

$$W_t = 50\text{kg}$$

Donde:

W_m = Peso del molde, parte móvil.

W_f = Peso del molde, parte fija.

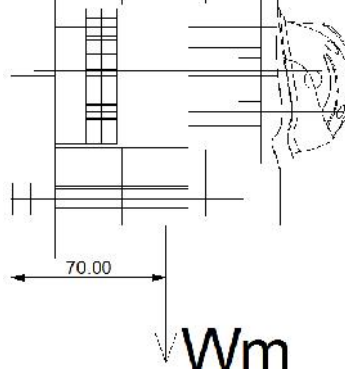
W_t = Peso total del molde.

El peso de la parte móvil, genera carga primaria en el perno:

$$F' = \frac{V}{n} = \frac{294\text{N}}{4} = 73.5\text{N} \quad (21)$$

También genera carga secundaria debido al momento flector:

Figura 41. Esquema Molde parte móvil.



Fuente: El autor.

$$M_f = Wm * l = 294N * 70mm = 20580N * mm \quad (22)$$

El momento flector genera tracción en los pernos de sujeción de la placa, se procede a calcular para el caso más crítico, es decir para los pernos que están más lejanos al centro de rotación.

$$F'' = \frac{M_f * r_k}{\sum (r_h)^2} = \frac{20580Nmm * 154mm}{(32mm + 154mm)^2} = 127N \quad (23)$$

Luego la tracción en cada perno es $P=63.5N$ (6.5Kg), por tener dos pernos en cada fila.

En conclusión el perno soporta cortante y tracción. Debido a la fuerza de pretensión y a la fuerza de tracción del perno se produce una fuerza de rozamiento.

Según lo recomendado por el catalogo de normalización para moldes tenemos: perno M8-GRADO SAE 5 y $L=100mm$, cuyo material tiene como características

$S_p=85 \text{ Kpsi}=6000 \text{ Kg/cm}^2$

$S_y=92 \text{ Kpsi}=6500 \text{ Kg/cm}^2$

$S_{ut}=120 \text{ Kpsi}=8450 \text{ Kg/cm}^2$

Además $A_{nominal}=0.8 \text{ cm}^2$; $A_t=0.6 \text{ cm}^2$

Pretensión F_i :

$$F_i = 0.85x F_p \quad (24)$$

$$F_i = 0.85x 3600 \text{ Kg}$$

$$F_i = 3060 \text{ Kg}$$

$$F_p = A_t * S_p \quad (25)$$

$$F_p = 0.6 \text{ cm}^2 * 6500 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$F_p = 3600 \text{ Kg}$$

Rozamiento:

Debido a la fuerza de pretensión y a la fuerza de tracción en el perno, se produce una fuerza de rozamiento.

$$F_r = \sim * N \quad (26)$$

$$F_r = 0.15 * 3054 Kg$$

$$F_r = 458.1 Kg$$

$\sim = 0.15$ Rozamiento entre dos placas de acero (ver tabla 13)

Tabla 13. Coeficiente de fricción para pares roscados.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Fundición de hierro
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
para máquina				
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

Fuente: Shigley. Diseño de elementos máquinas.

$$N = F_i - F'' \quad (27)$$

$$N = (3060 - 6.5) Kg$$

$$N = 3054 Kg$$

La fuerza de rozamiento estático es mayor que el cortante (carga primaria), $F' < F_r'$ que quiere decir que en la práctica, el cortante producido será absorbido por el rozamiento y los pernos soportaran solo tracción.

Constante de rigidez del sujetador:

La placa de respaldo tiene un espesor de 1.6cm.

$$A_b = 0.8 \text{ cm}^2 = 0.12 \text{ plg}^2$$

$$k_b = \frac{A_t * A_d * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} \quad (28)$$

Como $A_t = A_d$, entonces resulta lo siguiente:

$$k_b = \frac{A_t * E}{l_t + l_d} \quad (29)$$

$$k_b = \frac{0.12 \text{ plg}^2 * 30 \text{ E}6 \text{ psi}}{(1.02 + 2.9) \text{ plg}} = 0.92 \text{ Mlb} / \text{plg} = 1.6 \text{ E}5 \text{ Kg/cm}$$

$$A_b = 75.8 \text{ mm}^2 = 0.12 \text{ plg}^2$$

$$l_t = 2d + 6 = 2(10 \text{ mm}) + 6 = 26 \text{ mm} = 1.02 \text{ plg} \text{ (ver tabla 5.7)}$$

$$l_d = 74 \text{ mm} = 2.9 \text{ plg}$$

Donde:

A_t = área de esfuerzo a tensión.

A_d = área del diámetro mayor del sujetador.

l_t =longitud de la parte roscada de agarre.

l_d =longitud de la parte sin rosca de agarre.

$E_b=30E6\text{psi}=30E4 \text{ Kg/cm}^2$ módulo de elasticidad del perno.

Tabla 14. Longitud de rosca para pernos.

LONGITUD DE LA ROSCA PARA PERNOS	
$L_r = \begin{cases} 2d + 6 \\ 2d + 12 \\ 2d + 25 \end{cases}$	$\begin{matrix} L \leq 125 \\ 125 < L \leq 200 \\ L > 125 \end{matrix}$
<p>Donde L es la longitud del perno. La longitud de la rosca para pernos estructurales Es ligeramente menor a la que indica.</p> <p>Las resistencias mínimas son las resistencias excedidas por 99% de los sujetadores.</p>	

Fuente: Shigley. Diseño de elementos máquinas

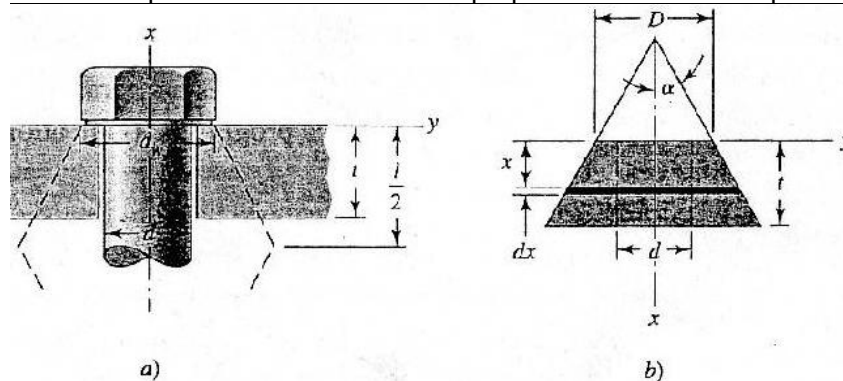
Constante de rigidez del elemento:

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \frac{1}{K_{m3}} \quad (30)$$

Como todos los elementos de unión tienen el mismo modulo de Young (E), el diámetro de la cara de la arandela es aproximadamente 50% mayor que el diámetro del sujetador para pernos estándar de cabeza hexagonal, con las consideraciones anteriormente mencionadas y si también se usa un ángulo de 30grados, la formula que es aplicable es la siguiente.

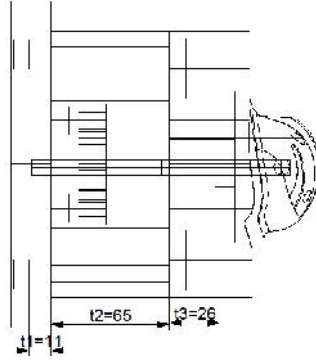
$$k_{mn} = \frac{0.577 * f * E_b * d}{\ln(5) \frac{(1.5t + D - d) * (D + d)}{(1.5t + D + d) * (D - d)}} \quad (31)$$

Figura 42. Compresión de elementos con propiedades elásticas equivalentes.



Fuente: Shigley. Diseño de elementos máquinas

Figura 43. Molde casco decorativo parte móvil.



Fuente: El autor.

D=15mm

d=10mm

Reemplazando en la ec. (31) se tiene:

$$k_{m1} = \frac{0.577 * f * 30E4Kg / cm^2 * 1cm}{\ln\left(\frac{(1.5(1.1cm) + 1.5cm - 1cm) * (1.5cm + 1cm)}{(1.5(1.1cm) + 1.5cm + 1cm) * (1.5cm - 1cm)}\right)} = 5.7E5Kg / cm$$

$$k_{m2} = \frac{0.577 * f * 30E4Kg / cm^2 * 1cm}{\ln\left(\frac{(1.5(6.5cm) + 1.5cm - 1cm) * (1.5cm + 1cm)}{(1.5(6.5cm) + 1.5cm + 1cm) * (1.5cm - 1cm)}\right)} = 3.8E5Kg / cm$$

$$k_{m2} = \frac{0.577 * f * 30E4Kg / cm^2 * 1cm}{\ln\left(\frac{(1.5(2.6cm) + 1.5cm - 1cm) * (1.5cm + 1cm)}{(1.5(2.6cm) + 1.5cm + 1cm) * (1.5cm - 1cm)}\right)} = 4.4E5Kg / cm$$

Reemplazando en la ecuación (30) se tiene:

$$\frac{1}{K_m} = \left(\frac{1}{5.7E5} + \frac{1}{3.8E5} + \frac{1}{4.4E5} \right) \frac{cm}{Kg}$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{13.9E5} \frac{cm}{Kg}$$

Entonces:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad (32)$$

$$C = \frac{1.6E5Kg/cm}{(1.6E5 + 13.9E5)Kg/cm} = 0.1$$

Como la carga es constante.

$$F_b = F_i + C * n * P \quad (33)$$

$$F_b \leq S_y * A_t \quad (34)$$

Igualando la ec. (33) y (34), entonces el factor de seguridad es:

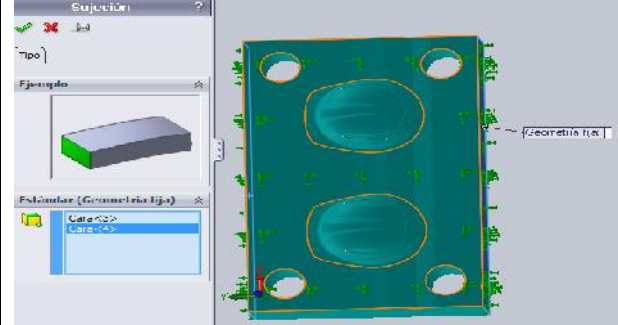
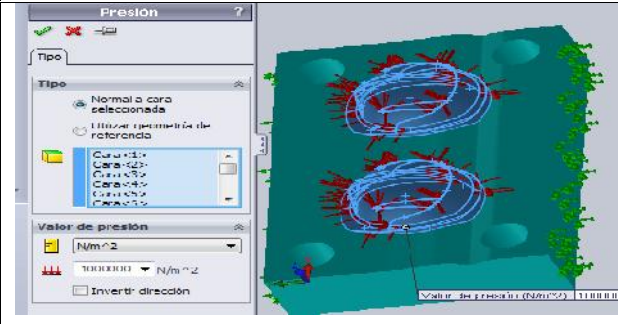
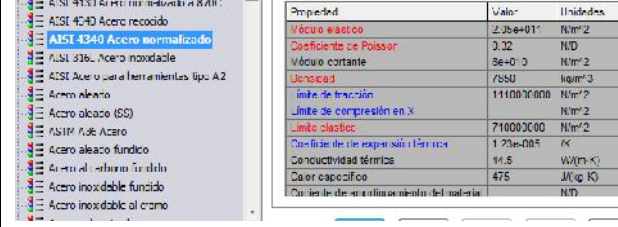
$$n = \frac{S_y * A_t - F_i}{C * P} \quad (35)$$

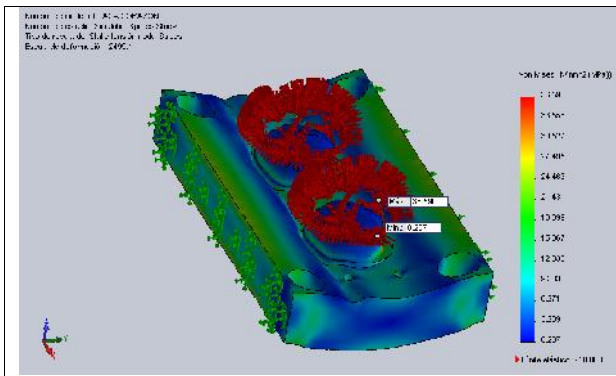
$$n = \frac{6500Kg / cm^2 * 0.472cm^2 - 3060Kg}{0.1 * 6.5Kg} = 12.3$$

Se verifica que los pernos de unión no fallaran.

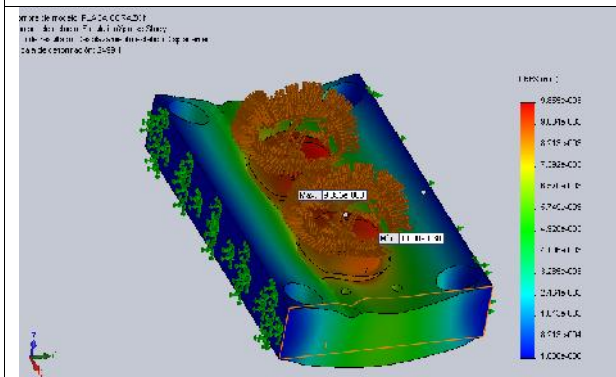
5.2.5 Análisis de esfuerzos mediante Software CAE. A continuación mediante Software, se procede a analizar la placa núcleo y la placa cavidad ya que están directamente expuestas a la presión de inyección; De igual forma a la placa de expulsión ya que está expuesta a la fuerza de expulsión de la máquina.

Tabla 15. Análisis de esfuerzos placa núcleo.

	Asignación de fijaciones.
	Asignación de presión sobre los núcleos con un valor de 10MPa.
	Asignación de material AISI 4340.



Mediante Software se obtiene un máximo valor de tensión 36.59MPa, con factor de seguridad igual a 19.4, este factor nos da la confianza de que la placa no fallara bajo carga de inyección durante su ciclo de trabajo, garantizando la funcionalidad del molde.



Los resultados muestran una flecha máxima 0.0098mm para el caso más crítico, con lo cual se puede concluir que prácticamente la deformación no afecta a las dimensiones del producto final.

Fuente: El autor.

Tabla 16. Análisis de esfuerzos placa cavidad.

Asignación de fijaciones.

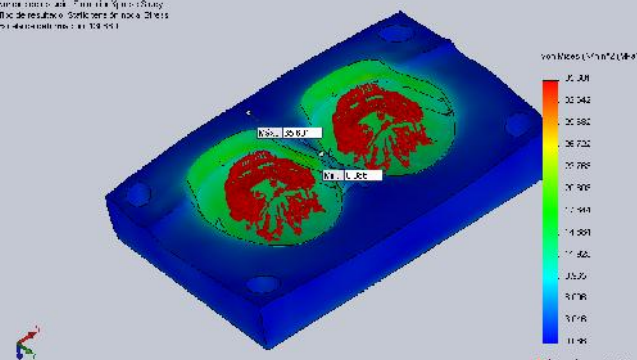
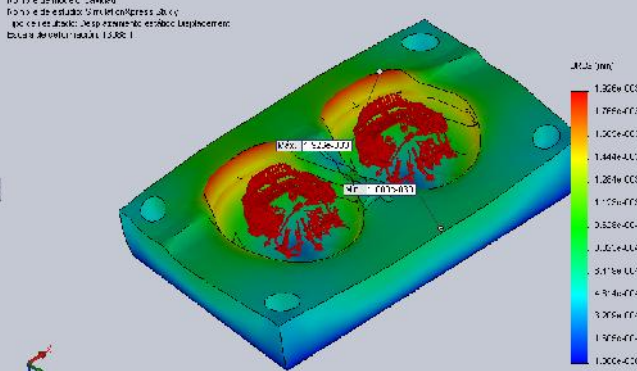
Asignación de presión sobre las cavidades con un valor de 10MPa.

AISI 4130 Acero normalizado a 370C
 AISI 4340 Acero recocido
AISI 4340 Acero normalizado

AISI 316L Acero inoxidable
 AISI Acero para herramientas tipo A2
 Acero acaado
 Acero acaado (SS)
 ASTM A36 Acero
 Acero acaado fundido
 Acero al carbono fundido
 Acero inoxidable fundido

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.05e+11	N/m²
Coefficiente de Poisson	0.32	N/D
Módulo cortante	3e+10	N/m²
Densidad	7850	kg/m³
Límite de tracción	110000000	N/m²
Límite de compresión en X		N/m²
Límite elástico	710000000	N/m²
Coefficiente de expansión térmica	1.23e-005	1/K
Conductividad térmica	44.5	W/(m·K)
Calor específico	475	J/(kg·K)
Coeficiente de amortiguamiento del material	N/D	

Asignación de material AISI 4340.

	<p>Mediante software se obtiene un máximo valor de tensión 35.6MPa con un factor de seguridad 19.9, este factor nos da la confianza de que la placa no fallara bajo carga de inyección durante su ciclo de trabajo, garantizando la funcionalidad del molde.</p>
	<p>Los resultados muestran una flecha máxima 0.0019mm para el caso más crítico, con lo cual se puede concluir que prácticamente la deformación no afecta a las dimensiones del producto final.</p>

Fuente: El autor.

Tabla 17. Análisis de esfuerzos placa expulsora.

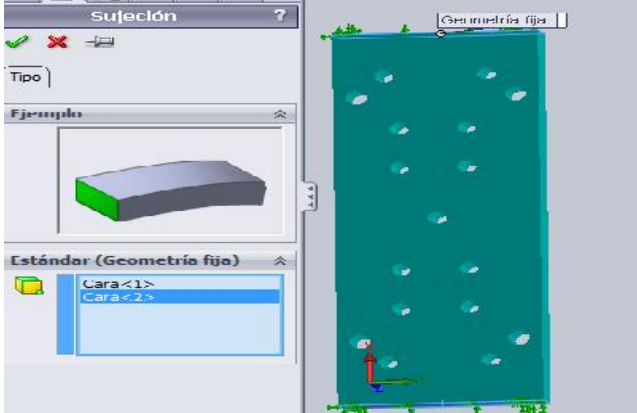
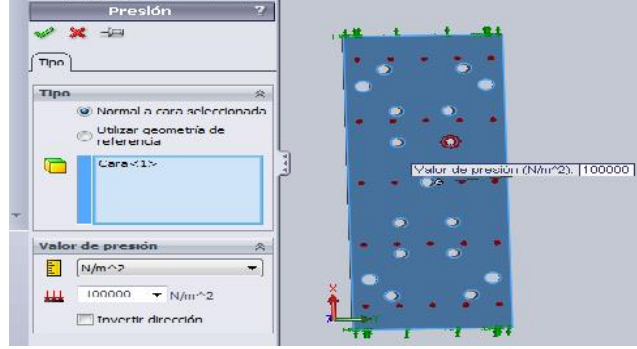
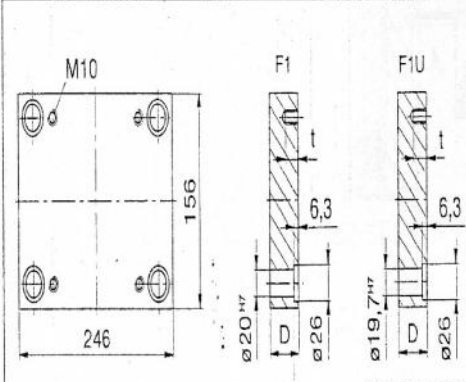
	<p>Asignación de fijaciones.</p>
	<p>Asignación de la fuerza de expulsión de 22kN, en un área de la placa de 0,022 m².</p>

Tabla 18. Normalización porta molde INTERCH – agujeros.

Normintech™
Qualitäts-Normalien

Formplatten
156 x 246

156 x 246		Bestellbeispiel: 156x246-F1-D-Material	Mat.: 1730, 2767, 2311, 2312 Lieferung ab Lager					
	F1- F1U	D	Material (EUR/1)					
			1730	2162	2767	2311	2312	2343
		17	58,00	71,00	82,00	71,00	71,00	
		22	63,00	78,00	94,00	79,00	78,00	
		27	70,00	86,00	104,00	87,00	86,00	107,00
		36	82,00	102,00	126,00	104,00	102,00	130,00
		46	94,00	118,00	147,00	120,00	118,00	152,00
		56	107,00	135,00	170,00	138,00	135,00	176,00
		66	121,00	153,00	194,00	156,00	152,00	201,00
		76	135,00	171,00	218,00	174,00	171,00	227,00
Mat. F1U: 2162, 2767, 2343								

Fuente: INTECH EDM. Normalización de moldes.

5.2.6 Ángulos de desmoldeo. Para facilitar la expulsión de la pieza del molde, se le da un ángulo a partir de la medida nominal de la pieza, la misma que varía entre 1° a 3°. En nuestro caso se optó por 1° de ángulo de desmoldeo.

5.2.8 Tolerancia. Uno de los factores muy importantes en la construcción de moldes es la tolerancia dimensional, ya que es determinante en el momento de acoplar diferentes piezas en la construcción y en el montaje del molde.

A continuación se realiza el cálculo para la selección de la tolerancia apropiada:

$$i = 0.45 * \sqrt[3]{D} + 0.001 * D \quad (36)$$

$$i = 0.45 * \sqrt[3]{20} + 0.001 * 20$$

$$i = 1.24 \sim$$

5.3 Diseño para la manufactura

5.3.1 Material a inyectar y su contracción. El material seleccionado para la fabricación del casco decorativo es un polipropileno copolímero, por sus aplicaciones

en el sector de consumo (juguetes, recipientes para alimentos, cajas, hieleras, etc.)

Para el diseño del molde, el parámetro básico que hemos de tener en cuenta es la contracción que presenta el material. Este porcentaje, facilitado por el fabricante del plástico, es el porcentaje de reducción de las dimensiones de la pieza una vez que ha sido inyectada y expulsada del molde. Esto significa que antes de empezar con el diseño del molde, debemos escalar la pieza haciéndola un 1.8% más grande.

5.3.2 Cálculo del número de cavidades. La determinación del número de cavidades en un molde depende principalmente de factores como la forma y el volumen de las partes que serán moldeadas y las características de la máquina seleccionada para moldearlas. Para determinar el número de cavidades se sigue un criterio tecnológico, como es la capacidad de inyección.

Capacidad de inyección.- Por la relación entre el peso o volumen máximo del material correspondiente que pueda inyectar la máquina y el peso o volumen del artículo.

Datos:

Capacidad de inyección=60gr

Peso mazarote/canales=7gr

Peso pieza=27gr

$$N^{\circ}_{cavidades} = \frac{Cap_{inyeccion} - Peso_{mazarote / canales}}{Peso_{pieza}} \quad (37)$$
$$N^{\circ}_{cavidades} = \frac{60gr - 7gr}{13.5gr} = 3.9$$

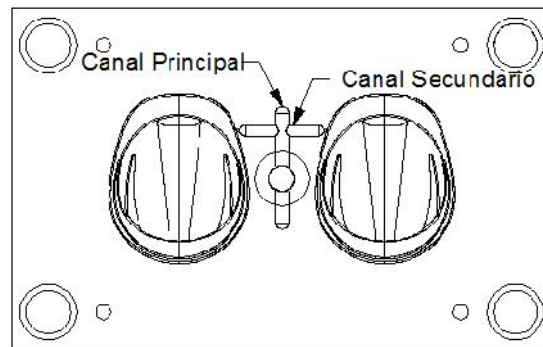
Mediante el cálculo se determina 3 cavidades, pero debido al elevado costo de fabricación del molde que implica, se decide finalmente por fabricar un molde para dos cavidades.

5.3.3 Canales de distribución. Los canales de distribución constituyen la parte del sistema de llenado, unen las cavidades del molde con el cono de entrada. Tiene la misión de conseguir que el material penetre en todas las cavidades simultáneamente a igual presión y temperatura. La masa plastificada penetra a gran velocidad en el molde refrigerado. La distribución del calor enfría y solidifica rápidamente la masa que fluye tanto a las paredes exteriores. Al mismo tiempo, la masa que fluye por el centro queda

aislada respecto a la pared del canal, originándose así un núcleo plástico, por la que pueda fluir la masa necesaria para el llenado del molde.

El modo más sencillo de conseguir un llenado simultáneo, consiste lógicamente en hacer de igual longitud las vías de flujo hacia las cavidades y el no modificar la sección de los canales de distribución y estrangulamiento.

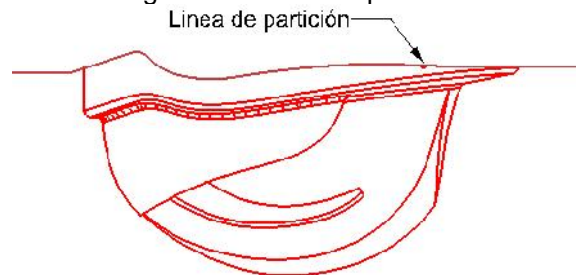
Figura 44. Canales de distribución.



Fuente: El autor.

5.3.4 Estudio de la partición del molde. El estudio de las particiones del casco decorativo se lo realiza mediante Software CAD 3D, después de un estudio minucioso de la forma del casco se ha llegado a la conclusión que la mejor opción es la que se muestra a continuación. La configuración de la línea de partición presta la ventaja de ser lo menos visible posible para no influir en la esta estética del producto.

Figura 45. Línea de partición.



Fuente: El autor.

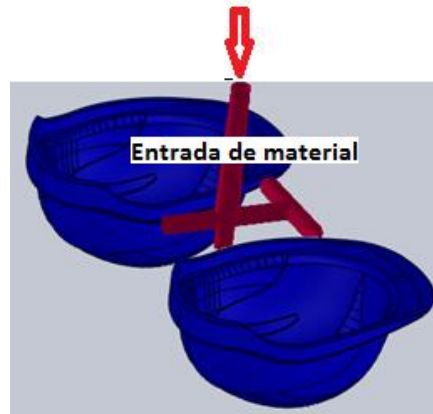
5.3.5 Estudio de la entrada de material. Los parámetros para la disposición de los puntos de inyección son:

- El punto de inyección debe situarse en las cercanías de la superficie de la pieza
- La colocación se realizará en zonas que permitan un flujo fácil.
- Salida del aire atrapado en la cavidad.

- d) El punto de inyección se colocará de forma que el material avance según un frente continuo.

Teniendo en cuenta la línea de partición de la pieza marcada por el diseñador ya descrita anteriormente y conociendo el tipo de alimentación con el que se va a inyectar la pieza (boquilla caliente), se concluye que el mejor punto para la entrada de material se encuentra en el centro de gravedad de la placa de las cavidades hembra.

Figura 46. Entrada de material



Fuente: El autor.

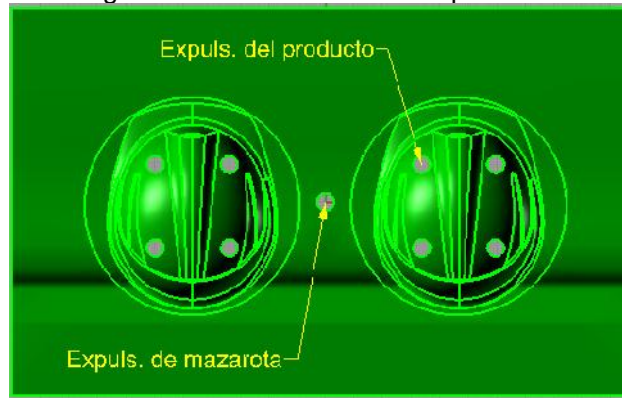
Con el punto de entrada de material seleccionado, obtendremos un llenado de la cavidad uniforme llegándola masa fundida a todas las partes de las dos cavidades al mismo tiempo, evitando así zonas sobrealimentadas y enfriamientos desiguales.

5.3.6 Estudio de la zona de expulsión. El estudio de la zona de expulsión está íntimamente relacionado con la refrigeración de la pieza. Esto quiere decir, que el espacio disponible para la extracción de la pieza del molde, queda reducido debido al espacio necesario para los canales de refrigeración dentro del molde, para solucionar este inconveniente se ha optado por realizar el sistema de refrigeración en la placa de respaldo de la placa porta cavidades.

Teniendo ya definida la zona de expulsión, situaremos los expulsores en zonas estratégicas de la figura las cuales tengan más tendencia riesgo de atrapamiento dentro del molde, adicionalmente se ubica un expulsor para la mazarota ya que también tiene riesgo de atrapamiento.

A continuación se muestra una figura donde podemos observar la ubicación de los expulsores.

Figura 47. Ubicación de los expulsores.

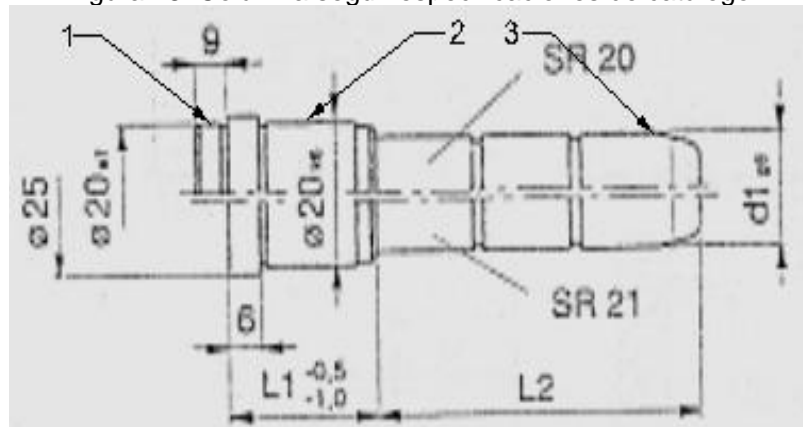


Fuente: El autor.

5.3.7 Guías y componentes. El sistema de guiado cumple con la función de hacer que los elementos de moldeo coincidan exactamente, es decir que la línea de cierre coincida correctamente. Si los elementos de moldeo no coinciden, pueden chocar mutuamente y producir deformaciones en la cavidad bajo la influencia de las elevadas fuerzas de cierre. Además con los moldes descentrados, la pieza presentaría distintos espesores de pared en el producto final.

Para alcanzar la máxima precisión, el molde necesita una guía y unos elementos de centrado propio. En moldes pequeños y particularmente planos, se emplea pernos de guía. Se trata de pernos que sobresalen de una de las mitades del molde cuando éste está abierto y al efectuar el cierre, se introducen con un ajuste perfecto en los orificios de los casquillos y manguitos de acero templado previstos en la otra mitad. En los moldes planos se garantiza una posición relativa permanente y exacta de ambas superficies externas durante el proceso de inyección, así como la obtención de piezas externas de desplazamiento.

Figura 48. Columna según especificaciones de catálogo.



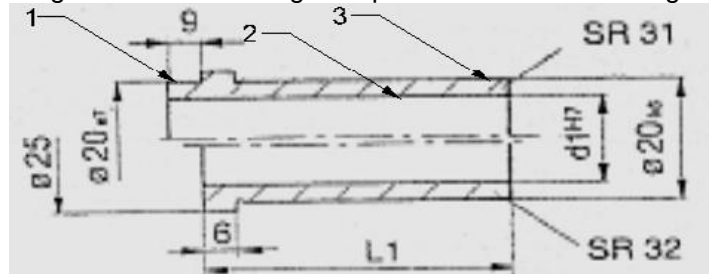
Fuente: INTECH EDM. Normalización de moldes.

Tabla 19. Tolerancias para columnas.

TOLERANCIAS COLUMNAS			
	AGUJERO	EJE	AJUSTE DE PRECISIÓN
1	H7	e7	Asiento giratorio: piezas móviles con juego.
2	H7	k6	Asiento forzado medio: montado y desmontado con martillo si gran esfuerzo.
3	H7	g6	Asiento deslizante: en piezas lubricadas con deslizamiento.

Fuente: INTECH EDM. Normalización de moldes.

Figura 49. Camisa según especificaciones de catálogo.



Fuente: INTECH EDM. Normalización de moldes.

Tabla 20. Tolerancias para camisas.

TOLERANCIAS CAMISAS			
	AGUJERO	EJE	AJUSTE DE PRECISIÓN
1	H7	e7	Asiento giratorio: piezas móviles con juego.
2	H7	g6	Asiento forzado medio: montado y desmontado con martillo si gran esfuerzo
3	H7	k6	Asiento deslizante: en piezas lubricadas con deslizamiento.

Fuente: INTECH EDM. Normalización de moldes.

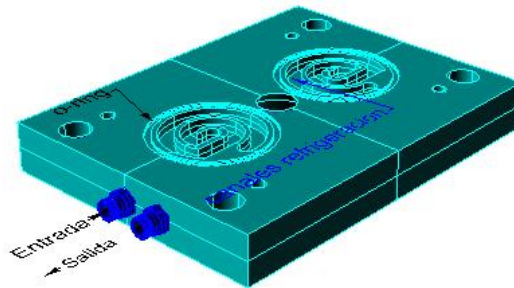
5.3.8 Sistema de refrigeración. El molde adquiere diferentes temperaturas por la transmisión de calor por parte de las niquelinas de la máquina de inyección y del material fundido, las mismas variaciones que se transmiten directamente a las paredes del molde, las que adquieren un incremento de temperatura, la misma que puede ocasionar defectos en las piezas a producir. Para la construcción del sistema de enfriamiento se debe considerar lo siguiente:

- La temperatura media del molde debe mantenerse en un rango lo más reducido como sea posible.
- La temperatura debe ser lo más uniforme posible. El tiempo de ciclo debe ser lo más corto posible.
- La temperatura del molde en un punto determinado varía a lo largo del ciclo de inyección.

Se llega a la conclusión que el sistema de refrigeración que mejor se ajusta a las condiciones del molde es conductos tipo espiral, el uso de este sistema se basa en la necesidad de absorber el calor de la masa fundida para que alcance su fase sólida y la estabilidad dimensional.

Los refrigerantes utilizados son agua y aceite. La absorción es más rápida en el agua, teniendo el aceite una mayor inercia térmica, lo que produce que un mayor control de la temperatura. Sin embargo, su coste es mayor. Con este sistema, a una temperatura dada del líquido refrigerante y trabajando la máquina de forma continuada a un ciclo dado, se establecerá un equilibrio entre la cantidad de calor que suministramos al molde con el plástico fundido, y la cantidad de calor que le quitamos al molde con el líquido refrigerante. El ciclo tiene que ser el menor posible que mantenga las piezas con la calidad requerida.

Figura 50. Configuración del sistema de refrigeración del molde.



Fuente: El autor.

5.3.9 Tiempo del ciclo de inyección. Si llamamos T_v al tiempo de apertura del molde más el tiempo de cierre del mismo, entonces el tiempo total de un ciclo es igual a:

$$T_{\text{ciclo}} = T_v + T_i + T_e \quad (38)$$

$$T_{\text{ciclo}} = (20 + 1.53 + 20.63)\text{s}$$

$$T_{\text{ciclo}} = 42.16\text{s}$$

Siendo:

T_v = tiempo en vacío = 20s

T_i = Tiempo de inyección en segundos

T_e = Tiempo de enfriamiento.

Capacidad de inyección. - Normalmente la capacidad de inyección máxima se indica en gramos de poliestireno. La capacidad de inyección en una máquina se ajusta para diferentes casos.

La capacidad de inyección para otro material se calcula de la siguiente forma:

$$CIB = CIPSx \left[\frac{Densidad_B}{Densidad_{PS}} \right] \quad (39)$$

Donde:

CIB = Capacidad de inyección con el material B

CIPS = Capacidad de inyección con Poliestireno=20gr/s

DesnsidadB = Densidad del material B=0.941gr/cm3

DensidadPS = Densidad del Polipropileno=0.9gr/cm3

Reemplazando en ec. (39) se tiene:

$$CIB = \frac{20gr}{s} x \left[\frac{0.941gr * cm3}{0.9gr * cm3} \right]$$

$$CIB = 20.91gr / s$$

Tiempo de inyección.- Conociendo así la capacidad de inyección se puede estimar el tiempo necesario para la inyección por:

$$Ti = \left[\frac{P_{pieza}}{CIB} \right] \quad (40)$$

$$Ti = \left[\frac{32gr * s}{20.91gr} \right]$$

$$Ti = 1.53s$$

Donde:

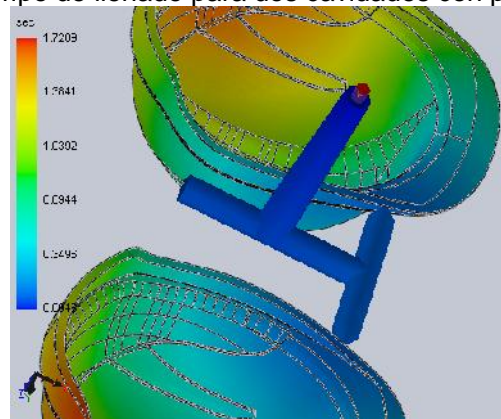
Ti = Tiempo de inyección en segundos.

Ppieza = Peso de la pieza mas mazarota en gramos=(27 +5)gr .

CI = Capacidad de inyección en gramos por segundo.

Este resultado es validado mediante software CAE, a continuación se muestra el tiempo de inyección arrojado por el análisis de inyección de PP, mediante simulación.

Figura 51. Tiempo de llenado para dos cavidades con polipropileno.



Fuente: El autor.

Tiempo de enfriamiento.- Tomando en cuenta que la pieza tiene un espesor uniforme de 2mm, que el molde estará alrededor de 45°C y que el material tiene una temperatura de 230°C aproximadamente, se tiene lo siguiente.

Material: Polipropileno (PP)
Difusividad térmica = 0.85×10^{-3} (cm²s⁻¹/°C)
Temperatura de extracción bajo carga = 60°C

$$Te = \frac{-S^2}{2fr} \times \ln \left[\frac{f(Tx - Tm)}{4(Tc - Tm)} \right] \quad (41)$$

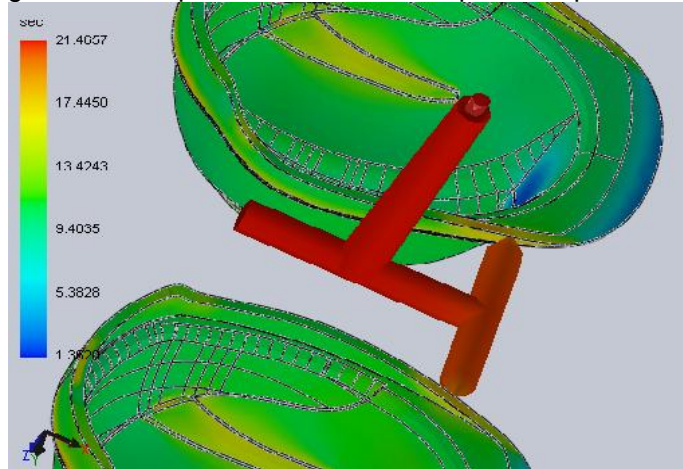
$$Te = \frac{-0.2cm^2}{2f(.85 \times 10^{-3}(cm^2s^{-1}/^{\circ}C))} \times \ln \left[\frac{f(60^{\circ}C - 45^{\circ}C)}{4(230^{\circ}C - 45^{\circ}C)} \right]$$

Y por tanto se obtiene:

Te = 20.63 seg

Este resultado es validado mediante software CAE, a continuación se muestra el tiempo de enfriamiento que muestra el análisis de inyección de PP, mediante simulación.

Figura 52. Tiempo de enfriamiento del producto plástico PP.

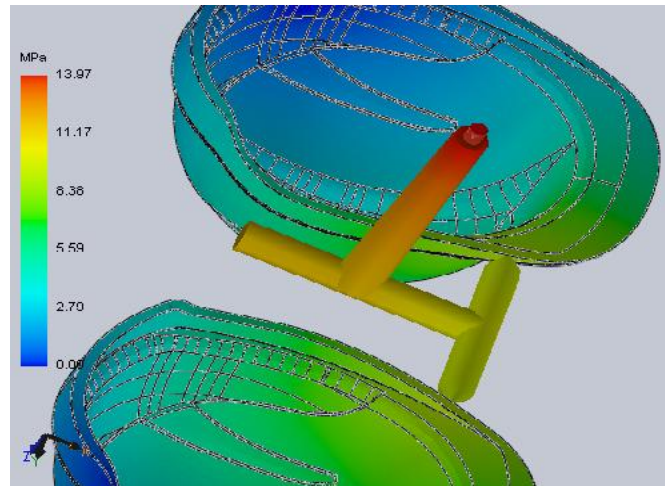


Fuente: El autor.

5.3.10 Presión de inyección.La presión se define como la fuerza normal por unidad de área. En el proceso de llenado, la fuerza de inyección por medio de tornillo se usa para empujar el material líquido en la cavidad. La fuerza se propaga a través del líquido y el resultado en una distribución de la presión en la cavidad. El perfil de presión presenta la disminución en la dirección del flujo. Se observa que la presión de la posición de flujo delantero es como una atmósfera desde el contacto del frente del flujo de aire.

Para una tasa constante, la presión de la puerta de entrada se incrementa con el tiempo.

Figura 53. Presión de llenado para dos cavidades con PP.

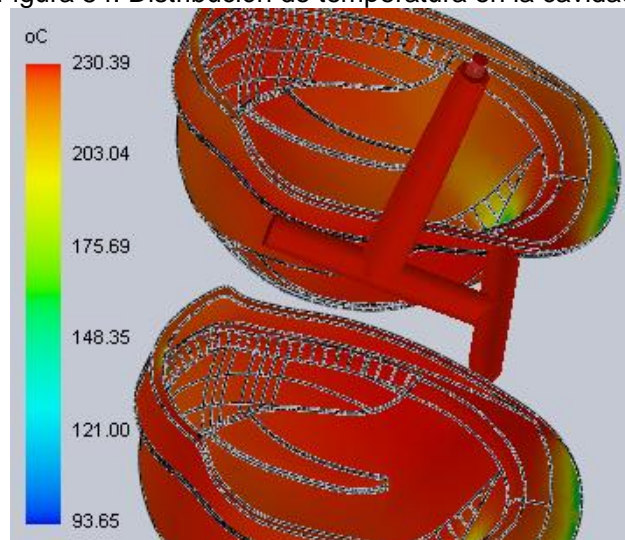


Fuente: El autor.

5.3.11 Temperatura central al fin del llenado. La distribución de la temperatura central se define como la temperatura de fusión de la posición central entre las dos caras de la superficie para cada región.

En general, la posición central es la distancia más lejana a la pared del molde, presenta una temperatura de fusión alta. La temperatura de la posición central puede ser disminuida rápidamente por la parte de cavidad muy delgada, y el tiro corto puede ser ocurrido.

Figura 54. Distribución de temperatura en la cavidad.



Fuente: El autor.

CAPÍTULO VI


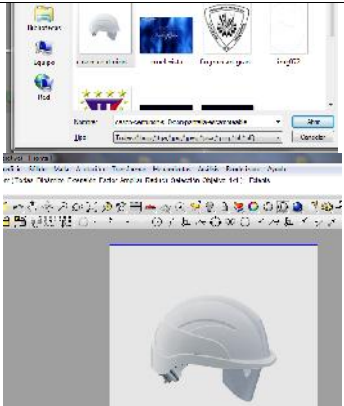
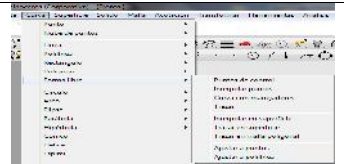
6. MODELACIÓN, PROGRAMACIÓN CNC, SIMULACIÓN VIRTUAL DEL MECANIZADO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOLDE.


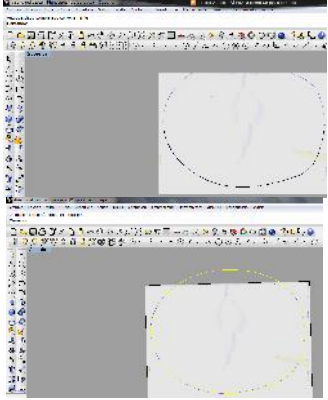
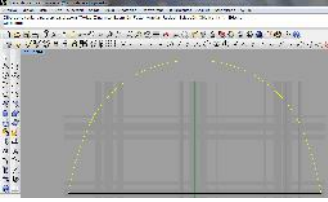
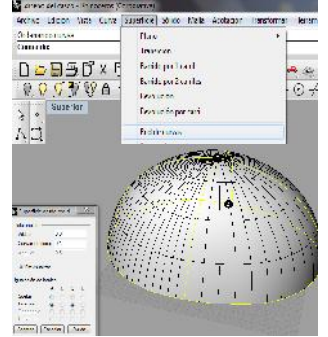
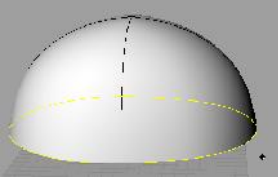
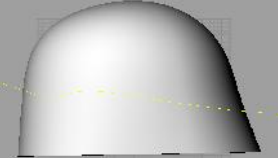
6.1 Modelación CAD del casco decorativo


6.1.1 Modelación CAD del producto. Para el desarrollo del producto de la presente tesis, se obtuvo imágenes de cascos de seguridad de actualidad mediante la ayuda del internet, así como un casco de seguridad que sirvió como modelo base. Los detalles estéticos del casco se los extrajo de las imágenes, así obtener mediante la fusión de detalles un producto estético y atractivo, que es el objeto de este casco decorativo.

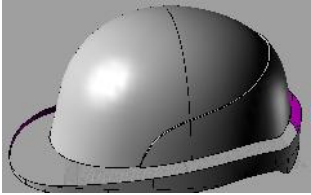
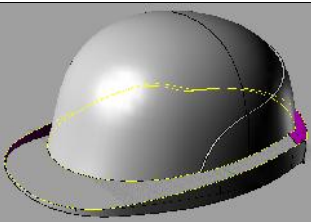
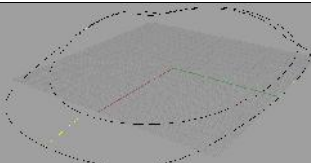
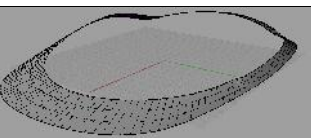
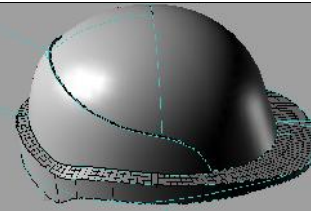
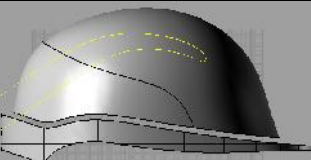
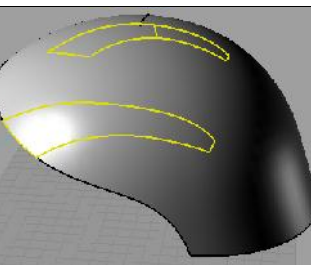
A continuación se detalla paso a paso la modelación CAD del producto:

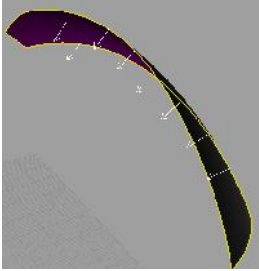
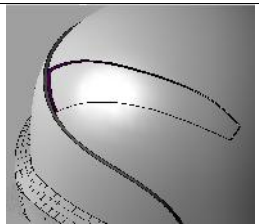
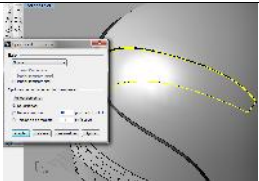
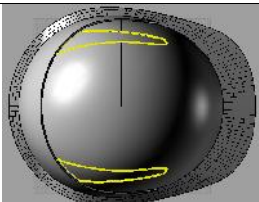
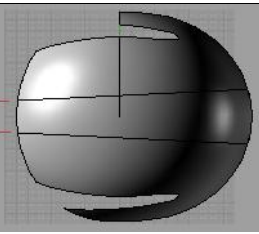
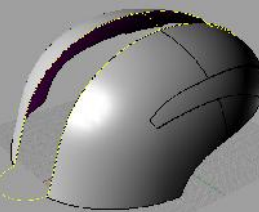
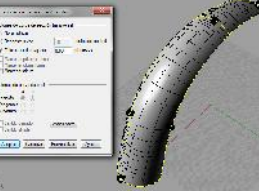
Tabla 21. Modelación CAD del producto.

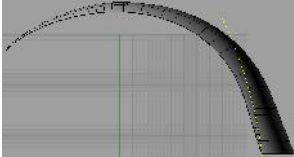
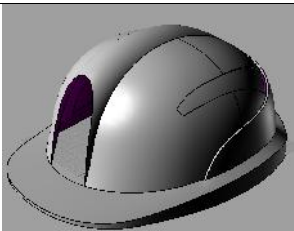
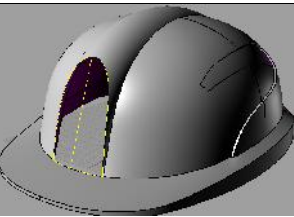
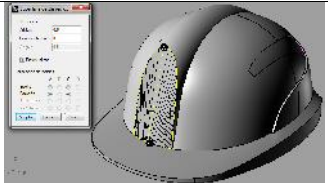
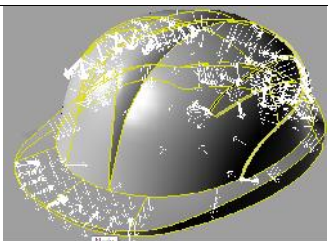
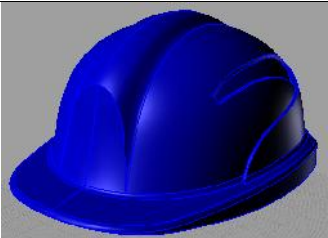
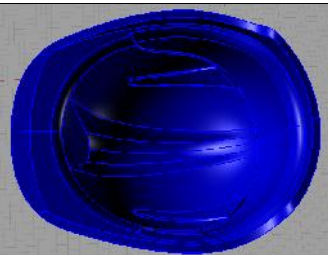
	<p>Abrir el software CAD, en el cuadro de diálogo que se muestra escoger objetos pequeños en milímetros, y click en abrir.</p>
	<p>Una vez ya abierto nuestra plantilla para trabajar, importar una imagen de casco para que sirva de modelo. Para esto en la barra de comando escribir <code>_picture frame</code> y luego enter. Se abre un cuadro de dialogo en el cual se selecciona la imagen y abrir, el programa solicita dos puntos de referencia para insertar la imagen, entonces con la vista frontal activa, en el cuadro de comandos ingresar para la primera esquina 0,0 y para la segunda esquina un punto cualquiera.</p>
	<p>Una vez insertada la imagen se procede a trazar líneas, ir al menú Curva/ Forma libre/ Interpolación puntos.</p>


	<p>Con este comando activo se procede a trazar puntos sobre la imagen, con el objetivo de obtener la primera curva para aplicar la red de curvas, estas curvas deben intersectar para obtener la superficie.</p>
	<p>Siguiendo esta misma metodología del paso anterior se obtiene la curva de la vista superior. En este caso se tiene un croquis de la vista superior del casco, pero está incompleto, para dar solución a esto hacemos un espejo de la curva respecto al eje X.</p> <p>Para realizar el espejo ir a menú/ transformar/ simetría, seleccionar la curva para simetría y enter, luego solicita el eje de simetría, para lo cual señalar el fin de la curva y orientar en la dirección del eje x, de esta manera se obtiene un croquis cerrado.</p>
	<p>Activar la vista lateral, para obtener la curva de esta vista, haciendo base en las curvas anteriormente obtenidas trazamos el perfil. Para trazar el perfil Curva/ Forma libre/ Interpolar puntos.</p>
	<p>Con las líneas obtenidas en las tres vistas se procede a generar la superficie base. Para esto utilizar menú/ superficies/ red de curvas/ enter, seleccionar por ventana todas las curvas y enter, sale un cuadro de dialogo el cual aceptar por defecto.</p>
	<p>Esta superficie obtenida se le procede a extender, en el cuadro de comando insertar ExtenderSup/ poner un factor de 20/ enter.</p>
	<p>Trazar una línea con la ayuda del comando menú Curva/ Forma libre/ Interpolar puntos, esta línea nos servirá para cortar la superficie y dar forma al diseño del casco.</p> <p>Para cortar la superficie menú/ edición/ partir. Primero seleccionar la superficie a partir y enter, luego la línea que va a servir como herramienta de corte, es importante que la vista frontal este activa.</p>

	Se procede a hacer un desfase de la superficie recortada, menú/ superficie/ desfasar superficie/2mm/enter.
	Trazar una línea en la vista frontal, con la ayuda del comando menú Curva/ Forma libre/ Interpolar puntos, esta línea va servir para cortar la superficie y dar forma al diseño de casco. Para cortar la superficie menú/ edición/ partir. Primero seleccionar la superficie a partir y enter, luego la línea que va a servir como herramienta de corte, es importante que la vista frontal este activa.
	Ahora eliminar las superficies que están demás, para obtener las superficies del casco como se muestra.
	Para unir las dos superficies resultantes realizar una superficie de transición, menú/ superficie/transición/ seleccionamos los dos bordes a unir mediante una superficie/ enter.
	En la vista superior trazar el perfil exterior del casco. Menú Curva/ Forma libre/ Interpolar puntos, esta línea va a servir para extruir. Seleccionar la curva ha extruir y luego menú/ solido/ extrucción de curva plana/ no tapar/ enter.
	Se realiza un desfase de la curva menú/ transformar/desfazar curva/ 2mm/enter. Esta curva (a) sirve para cortar la superficie obtenida por extrucción.
	También se traza otra curva (b) para cortar la superficie por extrucción.
	Se procede a partir la curva de extrucción con las curvas a y b.

	<p>Se elimina las superficies que no sirven, para obtener finalmente.</p>
	<p>Ahora seleccionar por ventana y unir las superficies, menú/ edición/unir. Luego duplicamos los bordes para realizar una red de curvas. En la barra de comando dupborde/seleccionamos las superficies/ enter. Ahora aislamos las líneas duplicadas, mediante el icono invertir selección y ocultar objetos.</p>
	<p>Unir las líneas aisladas con líneas como se muestra en la imagen.</p>
	<p>Generar las superficies mediante red de curvas. Seleccionar por ventana todas las líneas, menú/ superficies/red de curvas.</p>
	<p>Menú/ edición/visibilidad/ mostrar, esto es para observar todos los objetos que están ocultos.</p>
	<p>Trazar una curva como la que se observar en la figura, esta línea nos sirve para proyectarla sobre la superficie del casco.</p>
	<p>Aislar la curva y la parte superior del casco, luego proyectar la curva sobre la superficie, en la barra de comando insertar proyectar/enter/ primero seleccionamos la curva a proyectar/ enter/ segundo la superficie/ enter. Con las líneas proyectadas sobre la superficie ejecutamos el comando partir.</p>

	<p>Realizar un desfase de la superficie extraída del casco hacia dentro de 2mm, como se muestra en la figura.</p>
	<p>Eliminar la superficie original del desfase, resultando lo que se muestra en la figura.</p>
	<p>Ahora generar una superficie mediante transición, para rellenar los espacios vacíos del casco.</p>
	<p>Como este detalle es simétrico, realizar un espejo.</p>
	<p>Para realizar el detalle superior del casco, trazar dos curvas de corte como se muestra, con estas curvas ejecutar el comando partir.</p>
	<p>El siguiente paso es construir curvas que nos van a servir para ejecutar el comando superficie por dos carriles.</p>
	<p>Para ejecutar el comando por dos carriles: menú/superficie/por dos carriles/seleccionamos las dos líneas a y b, a continuación las líneas de sección transversal c, d, e/ enter/ aceptar.</p>

	<p>Trazar una línea como se muestra, para partir la superficie anterior.</p>
	<p>Visualizando las superficies construidas tenemos.</p>
	<p>Trazar curvas como se muestra.</p>
	<p>Seleccionar las curvas y ejecutamos el comando menú/ red de curvas/ enter.</p>
	<p>Seleccionar todas las superficies y ejecutar el comando unir. Para dar espesor al casco realizamos un desfase de superficie de 2mm, para esto: menú/ superficie/ desfasar superficie/ seleccionamos las superficies/ InvertirTodos/2/enter.</p>
	<p>Mediante superficies de transición construimos las superficies faltantes en el casco, para obtener finalmente un casco solido.</p>
	<p>Luego redondear los vértices externos del casco. Para redondear menú/ solido/ empalmar borde/ 3.5/ enter. Obteniendo finalmente el casco decorativo.</p>

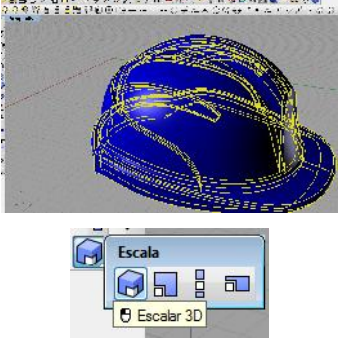
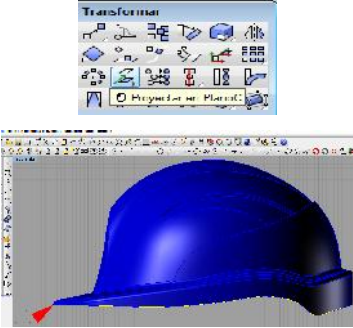
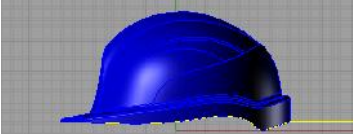
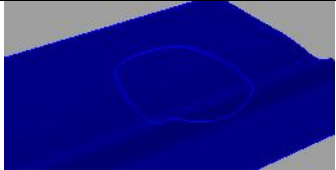
	<p>Para realizar un renderizado en la vista perspectiva: menú/ renderizado/ renderizar.</p>
---	---



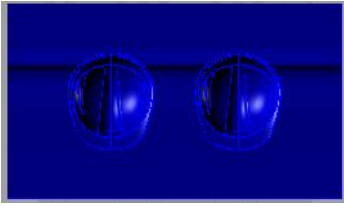
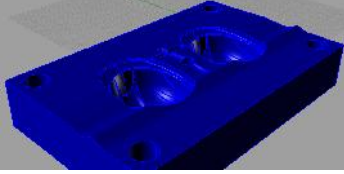
Fuente: El autor.

6.1.2 Diseño CAD de las placas cavidad y núcleo

6.1.2.1 Placa cavidad.

Tabla 22. Diseño CAD de la placa cavidad.

	<p>Escalar diseño del producto, mediante el comando ESCALAR 3D, considerando un factor de contracción para el polipropileno 1,8%.</p>
	<p>Para determinar la línea de partición se extrae la superficie por la cual el molde se va a separar en cavidad y núcleo, se procede a duplicar el borde, una vez duplicado el borde se procede a proyectar la curva sobre el plano yz en la vista izquierda del producto.</p>
	<p>Para poder hacer intersección con los bloques que van a contener a la cavidad y núcleo, a la línea proyectada se le añade en sus extremos dos líneas.</p>
	<p>Se procede a extruir la línea de partición, para luego cortar los bloques que van a contener las cavidades.</p>

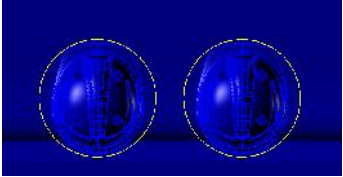
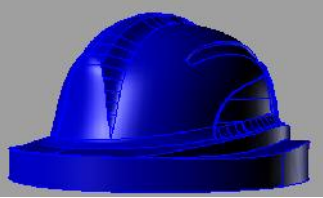
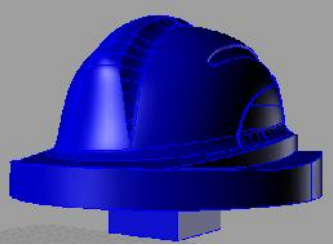
	<p>En el diseño se decidió hacer de dos cavidades, por lo cual se distribuye uniformemente en los bloques cavidad y núcleo.</p>
 	<p>Se ejecuta el comando partir para la superficie de separación con las curvas del borde de las cavidad, se elimina las superficies que están demás.</p>
	<p>A continuación con operaciones básicas se realiza el canal de distribución y guiado del molde.</p>

Fuente: El autor.

6.1.2.2 Placa núcleo. Por tema netamente económico se ha decidido realizar la placa núcleo en dos partes, que se menciona a continuación: núcleo y placa porta núcleos.

Núcleo.-

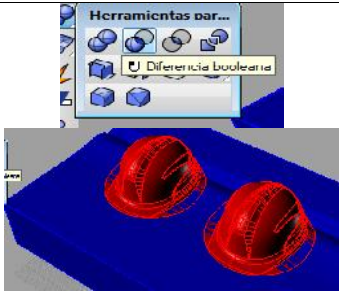
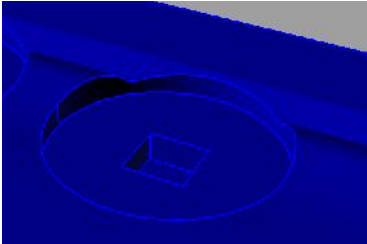
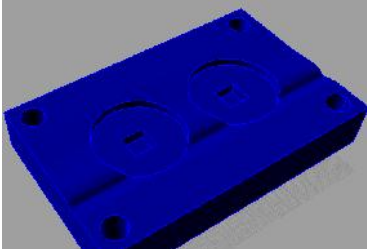
Tabla 23. Diseño CAD del núcleo.

	<p>El núcleo se va a mecanizar a partir de un eje que lo contenga, este eje va empotrado en la placa porta núcleos; Para lo cual se procede a partir la superficie de partición con dos circunferencias contenedoras.</p>
	<p>Se extruye la circunferencia una determinada distancia, para poder empotrar en la placa porta núcleos.</p>
	<p>También se hace necesario una chaveta contra giro.</p>

Fuente: El autor.

Placa porta núcleos.-

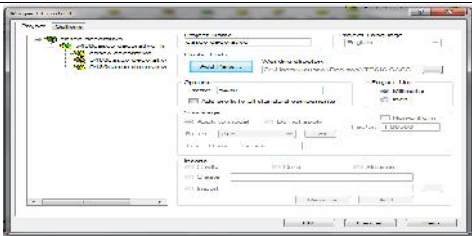
Tabla 24. Diseño CAD de la placa porta núcleos.

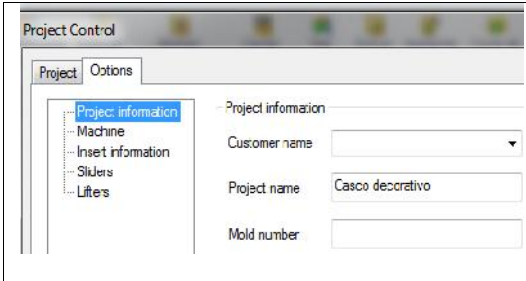
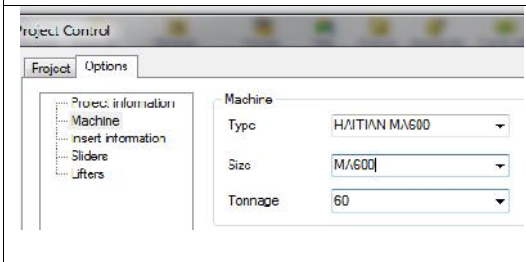
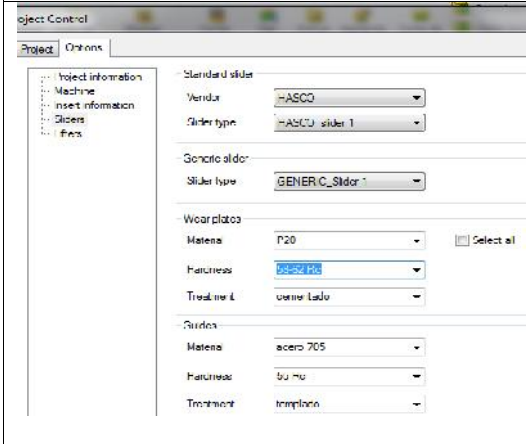
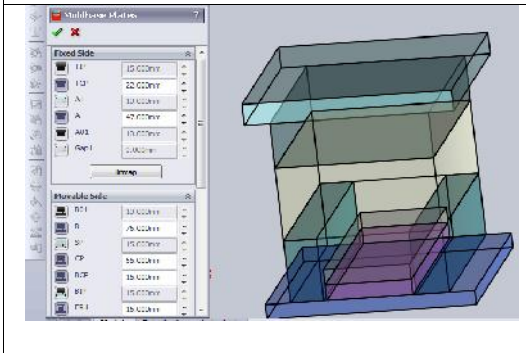
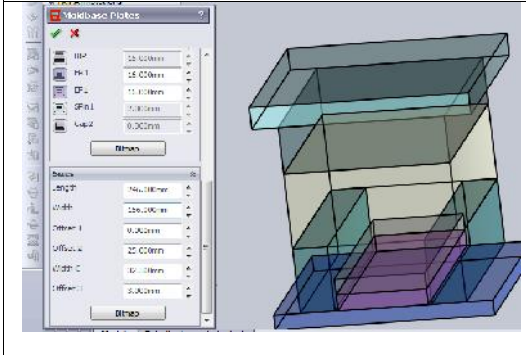
	Para realizar el empotramiento de los núcleos en la placa se realiza una diferencia Booleana entre la placa porta núcleos y los núcleos.
	Obteniendo el alojamiento para los núcleos.
	Con operaciones básicas de extrucción y diferencia Booleana se realiza el guiado de la placa.

Fuente: El autor.

6.1.3 Diseño CAD del porta molde. Tomando en cuenta las dimensiones del modelo se selecciona un tamaño de placas normalizado según INTECH EDM, cuyo documento cuenta las especificaciones dimensionales de cada parte de las placas del molde, las mismas que servirán para elaborar el diseño en IMOLD MBC.

Tabla 25. Diseño CAD del porta molde.

	Abrir archivo CASCO DECORATIVO.sldprt. Click en el menú Imold, Project Control, New Project.
---	--

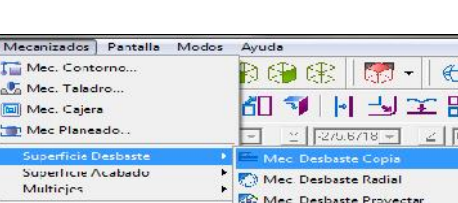
	<p>Ingresar el nombre del proyecto.</p>
	<p>Ingresar el tipo de máquina de inyección, HAITIAN MA600, 60 Ton.</p>
	<p>Seleccionamos en vendedor Hasco, AISI P20 para placas cavidad, acero 705 para el guiado</p>
	<p>En el cuadro de dialogo que se muestra se ingresa los datos normalizados para las diferentes placas del porta molde, tanto para la parte fija y la móvil. De acuerdo a la disponibilidad del material y a las recomendaciones del catálogo normalizado, se ingresa los datos de espesor.</p>
	<p>Finalmente se ingresa las dimensiones de longitud y ancho de las placas.</p>

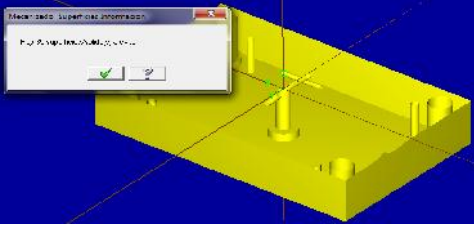
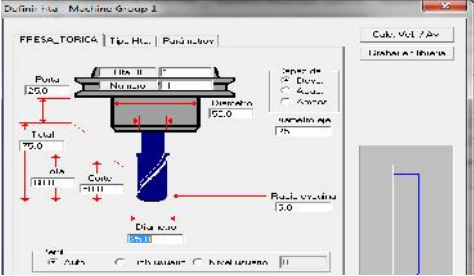
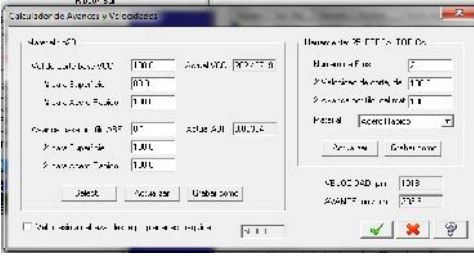
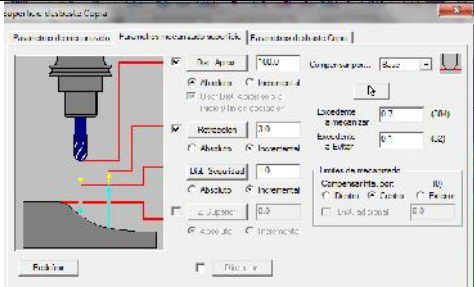
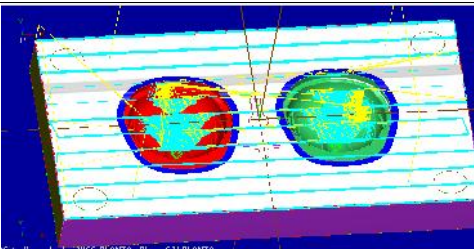
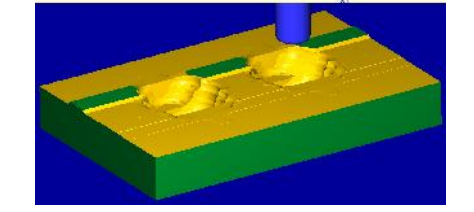
Fuente: El autor.

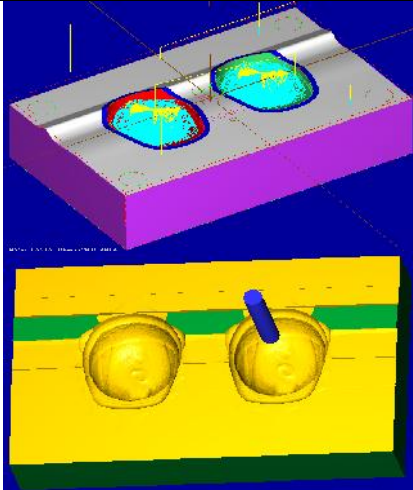
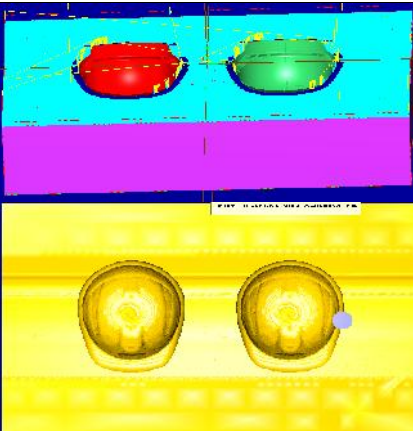
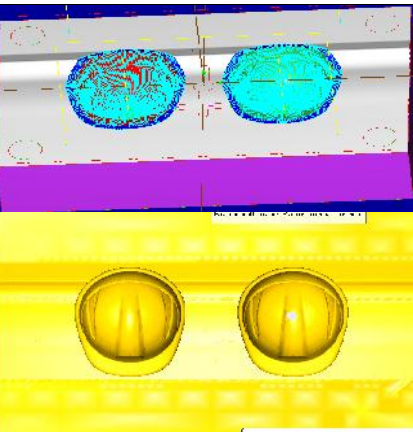
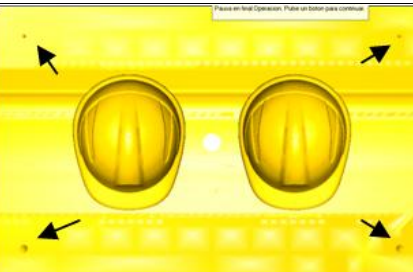
6.2 Generar programas CNC y simulación

6.2.1 Programas CNC y simulación de la placa cavidad.

Tabla 26. Programas CNC y simulación para la placa cavidad.

	<p>Importar el archivo en formato iges al software CAM. Previamente en el software de CAD, se asigna el cero pieza al bloque a mecanizar.</p>
	<p>Para un mecanizado óptimo de la superficie de cierre, se crea tapas planas para los orificios de las guías y la ramificación de alimentación.</p>
	<p>Seleccionar el tipo de máquina CNC a trabajar, en este caso es un centro de mecanizado vertical de 3 ejes.</p>
	<p>Para objeto de optimización de tiempo, se designa colores a las diferentes superficies de la placa cavidad. Dentro del grupo de máquina seleccionada anteriormente se tiene la opción para generar el material en bruto a mecanizar, para esto se selecciona caja delimitadora (Bounding Box), y finalmente OK.</p>
	<p>Ir a mecanizados, en esta pestana ofrece una variedad de operaciones de mecanizado. En este caso se necesita un mecanizado de desbaste, para lo cual ir a Superficie Desbaste/ Mec Desbaste Copia.</p>
	<p>Seleccionar las superficies a mecanizar.</p>

	<p>Seleccionar las superficies a evitar.</p>
	<p>Aparece la caja de diálogo para ingresar parámetros de corte como: velocidad del husillo, avance de corte, profundidad de corte, etc. Seleccionar y configurar la herramienta.</p>
	<p>Luego click derecho sobre la herramienta y seleccionar calcular velocidades y avances.</p>
	<p>En parámetros mecanizado superficie, ingresamos datos para zona de seguridad, retracción, distancia de seguridad, excedente de material a mecanizar, finalmente OK.</p>
	<p>Automáticamente se genera las trayectorias y movimientos de la herramienta.</p>
	<p>Para poder visualizar el resultado procedemos a simular esta operación.</p>

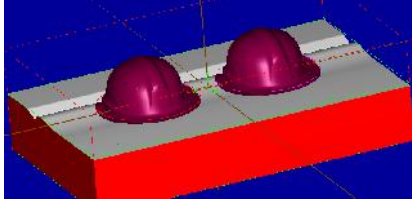
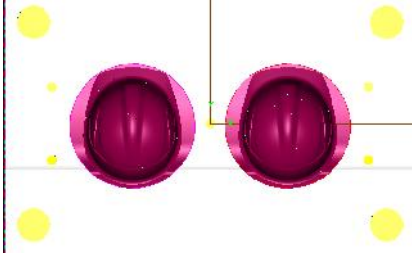
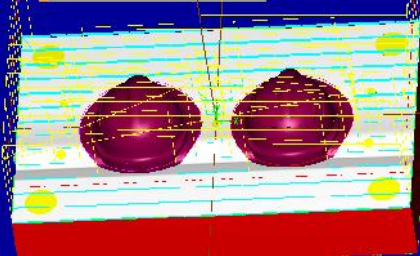
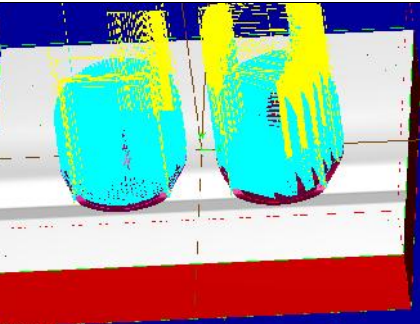
	<p>Debido al diámetro de la herramienta grande respecto al tamaño de la cavidad, se hace necesario un mecanizado de desbaste tipo cajera. Mediante simulación se observa que mejora notablemente el desbaste de la cavidad.</p>
	<p>Después del proceso de desbaste de la cavidad, viene el proceso de acabado de la línea de cierre. Mediante simulación se observa que se tiene una superficie de cierre uniforme y de buena calidad.</p>
	<p>Mediante la operación de acabado radial, se obtiene un mecanizado muy buena calidad.</p>
	<p>Para mecanizar el guiado se hace necesario el proceso de taladrado, para lo cual primero es necesario taladrar con una broca de centros.</p>

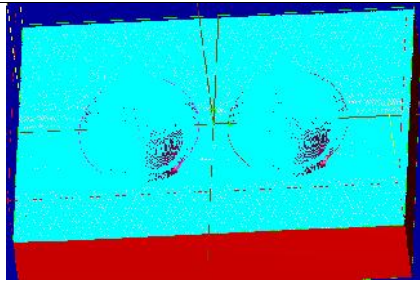
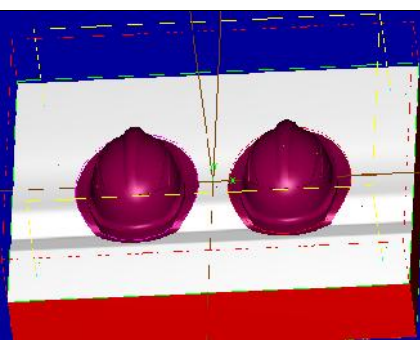
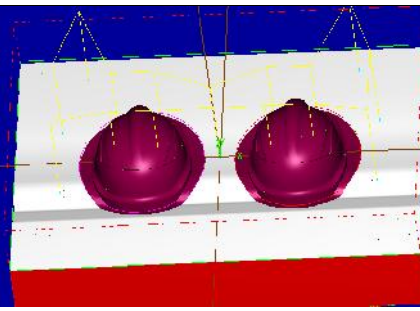
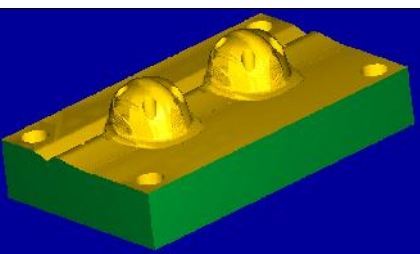
	<p>Finalmente realizamos el taladrado y mandrinado del guiado.</p>
---	--

Fuente: El autor.

6.2.2 Programas CNC y simulación de la placa núcleo.

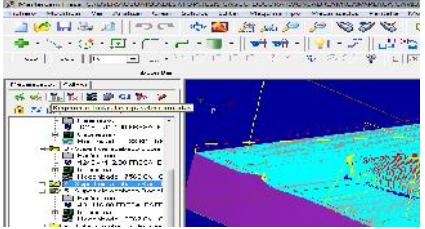
Tabla 27. Programas CNC y simulación para la placa núcleo.

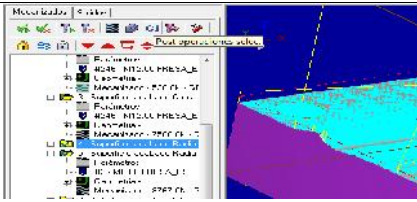
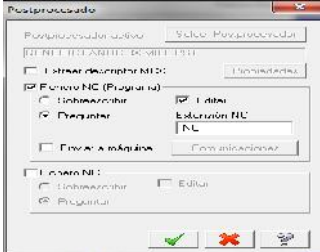
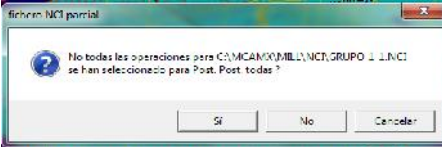
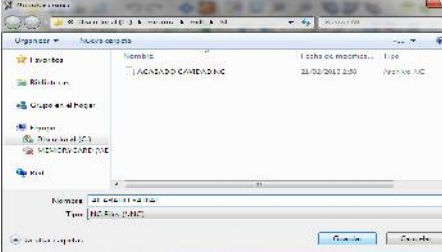
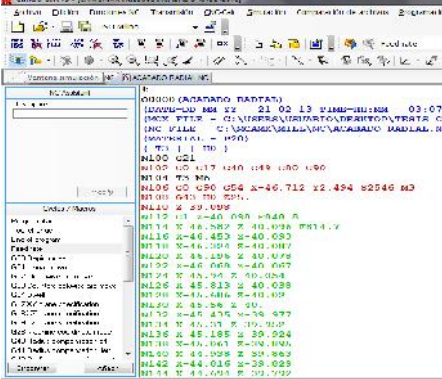
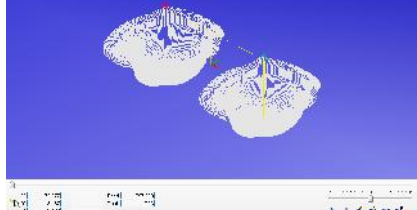
	<p>Importar el archivo en formato iges al software CAM. Previamente en el software de CAD, se asigna el cero pieza al bloque a mecanizar.</p>
	<p>Para un mecanizado óptimo de la superficie de cierre, se crea tapas planas para los orificios de las guías y expulsión.</p>
	<p>Ir a mecanizados, en esta pestana ofrece una variedad de operaciones de mecanizado. En este caso se necesita un mecanizado de desbaste, para lo cual ir a Superficie Desbaste / Mec Desbaste Copia.</p>
	<p>Luego se hace necesario un desbaste radial.</p>

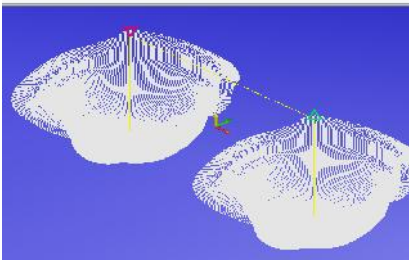
	<p>Una vez desbastado, se continúa con el siguiente proceso de mecanizado que es dar el acabado, para ello se selecciona acabado tipo copia.</p>
	<p>Luego se realiza el guiado, mediante taladrado y mandrinado.</p>
	<p>A continuación se realiza el taladrado para el sistema de expulsión.</p>
	<p>Finalmente ejecutamos la simulación del mecanizado.</p>

Fuente: El autor.

Tabla 28. Generar programa NC, placa cavidad.

	<p>Manteniendo presionado Ctrl seleccionar las dos operaciones de acabado radial, una vez seleccionado proceder a regenerar las operaciones con la pestaña regenerar todas las op. seleccionadas.</p>
---	---

	<p>Después de regenerar las trayectorias de las herramientas se procede a post procesar las operaciones (códigos G), para esto seleccionamos la pestaña Post operaciones selec.</p>
	<p>En el cuadro que aparece aceptamos por defecto.</p>
	<p>En este caso indicamos que no se quiere post procesar todas las operaciones generadas, de esta manera solo post procesa las operaciones seleccionadas anteriormente.</p>
	<p>En el cuadro que aparece ingresamos el nombre del archivo NC, guardar.</p>
	<p>Previamente se configuró el software de CAM, para que automáticamente pueda abrir el resultado de post procesar las operaciones en el software de edición. Para observar las trayectorias y poder simular la operación seleccionar la pestaña de ventana de simulación.</p>
	<p>En la ventana que se muestra se puede seleccionar Play, para observar la simulación de la trayectoria de la herramienta.</p>






	<p>Finalmente, a vez simulado, verificado la funcionalidad del programa NC, se procede a enviar el archive a la máquina CNC, mediante el icono denominado Enviar el archivo en la ventana abierta.</p>
---	--

Fuente: El autor.

6.3 Construcción del molde

6.3.1 Construcción de las placas de respaldo.

Tabla 29. Construcción de las placas de respaldo.

Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI 1010	
				Maquinaria	Horas
1		Escuadrado básico de la placa	Cuchilla de vidia	Fresadora	1
2		Planeado	Fresa madre	Centro de mecanizado CNC	0.5
3		Rectificado	Piedra abrasiva	Rectificadora	0.25
4		Encontrar el cero pieza	Reloj verificador	Centro de mecanizado CNC	0.1
5		Punteado previo al taladrado	Broca de centros	Centro de mecanizado CNC	0.1

6		Taladrado para pernos de unión.	Broca diám.11 mm	Centro de mecanizado CNC	1
7		Taladrado Pin de expulsión de la máquina inyección.	Broca diám.20 mm	Centro de mecanizado CNC	0.1
8		Mecanizado del sistema de refrigeración	Fresa Diam. 10.	Centro de mecanizado CNC	1
9		Perforado de entradas de refrigeración.	Broca diám.12 mm	Fresa	0.5

Fuente: El autor.

6.3.2 Construcción de la placa Cavidad.

Tabla 30. Construcción de las placas de respaldo.




Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI P20	
				Maquinaria	Horas
10		Alineación, encontrar el cero pieza.	Relej verificador	Centro de mecanizado CNC	0,1
11		Desbaste de la cavidad y de la línea de cierre.	Fresa de bola diám.12mm	Centro de mecanizado CNC	4
12		Perforación del guiado	Broca diam.12mm, mandrinado diám.20mm	Centro de mecanizado CNC	0.5

13		Acabado de la cavidad.	Fresa de bola diám. 6mm.	Centro de mecanizado CNC	4
14		Acabado de la línea de cierre.	Broca de centros	Centro de mecanizado CNC	4

Fuente: El autor.

6.3.3 Construcción de la placa porta núcleo.

Tabla 31. Construcción de la placa porta núcleo.

Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI P20	
				Maquinaria	Horas
15		Alineación, encontrar el cero pieza.	Reloj verificador	Centro de mecanizado CNC	0.1
16		Desbaste del alojamiento para el núcleo.	Porta plaquitas. diám.25mm r5mm.	Centro de mecanizado CNC	1
17		Dar el ajuste al alojamiento.	Fresa plana diám.18mm.	Centro de mecanizado CNC	0.1

Fuente: El autor.

6.3.4 Cilindrado del núcleo.

Tabla 32. Cilindrado del núcleo.


Paso #		Proceso	Herramienta	Material 705	
				Maquinaria	Horas
18		Refrentado de la base	Cuchilla de vidia	Torno	0.3
19		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de vidia	Torno	0.5
20		Cilindrado de acabado	Cuchilla de vidia	Torno	0.2

Fuente: El autor.

6.3.5 Construcción de la placa núcleo.

Tabla 33. Construcción de la placa núcleo.

Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI P20	
				Maquinaria	Horas
21		Alineación, encontrar el cero pieza.	Reloj verificador	Centro de mecanizado CNC	0.1
22		Desbaste del núcleo y línea de cierre.	Fresa de bola diám.6mm R3mm.	Centro de mecanizado CNC	4
23		Perforación del guiado	Broca diám.12mm mandrinado diám.20mm	Centro de mecanizado CNC	0.5

24		Acabado del núcleo y línea de cierre.	Fresa de bola diám.6mm R3mm.	Centro de mecanizado CNC	6
----	---	---------------------------------------	------------------------------	--------------------------	---

Fuente: El autor.

6.3.6 Construcción de la placa expulsora.


Tabla 34. Construcción de la placa expulsora.




Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI 1010	
				Maquinaria	Horas
25		Alineación, encontrar el cero pieza.	Reloj verificador	Centro de mecanizado CNC	0.1
26		Punteado.	Broca de centros.	Centro de mecanizado CNC	0.1
27		Perforado para barras expulsoras.	Broca diám.6mm.	Centro de mecanizado CNC	0.5
28		Perforado para cabezas de los expulsores.	Broca diám.8mm.	Centro de mecanizado CNC	0.2

Fuente: El autor.

6.3.7 Construcción de guías y bujes.

Tabla 35. Construcción del guiado.



Paso #		Proceso	Herramienta	Material ACERO 705	
				Maquinaria	Horas
29		Cilindrado de desbaste (pin)	Cuchilla de vicia	Torno	3


30		Cilindrado de desbaste (bocín)	Cuchilla de vicia	Torno	3
31		Temple en aceite	Horno eléctrico, recipiente con aceite		0.1
32		Cilindrado de acabado	Cuchilla de vicia	Torno	2

Fuente: El autor.

6.3.8 Construcción del bebedero.

Tabla 36. Construcción del bebedero.


Paso #		Proceso	Herramienta	Material AISI 1010	
				Maquinaria	Horas
33		Cilindrado de desbaste	Cuchilla de vicia	Torno	0.5
34		Cilindrado de acabado	Cuchilla de vicia	Torno	0.5
35		Perforado agujero de alimentación.	Broca diám. 5mm	Torno	0.1

36		Cilindrado cónico del agujero de alimentación.	Rima cónica diám. de 5 a 6mm	Manual	0.5
----	---	--	------------------------------	--------	-----

Fuente: El autor.

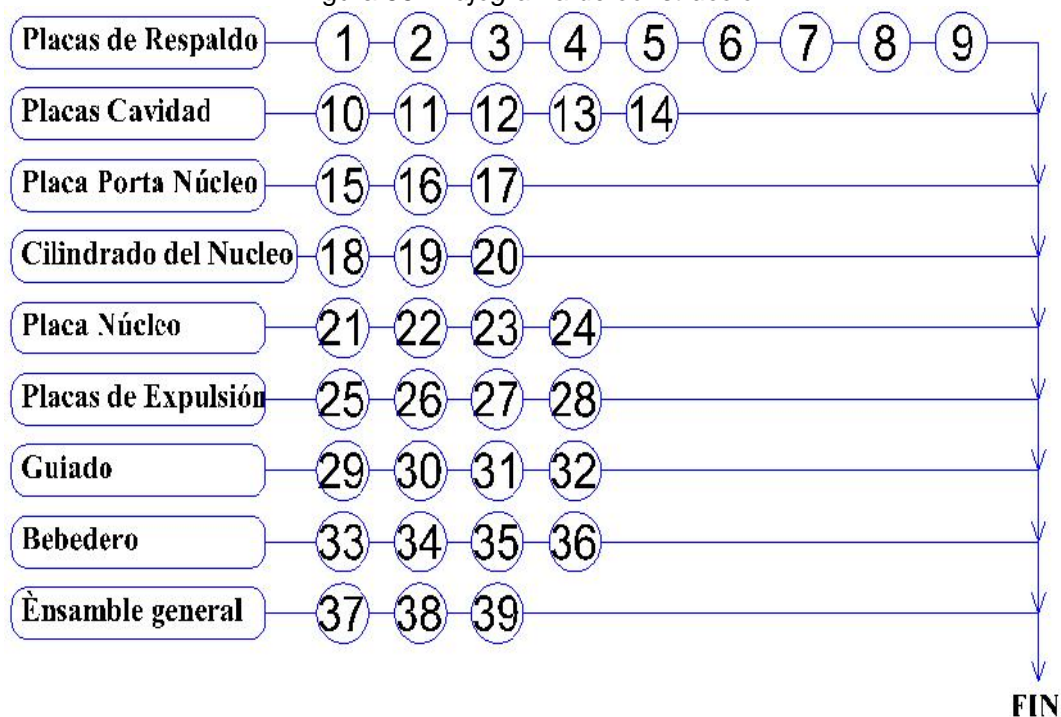
6.4 Ensamble general

Tabla 37. Ensamblaje general del molde.

Paso #	Ensamble general	Operación tecnológica	Horas
37		Ensamblaje de la parte fija del molde, placa de respaldo, placa de cavidades, bebedero, o ring, acoples para entradas de refrigeración.	1
38		Ensamblaje de la parte móvil del molde, placa de respaldo, placa núcleo, paralelas, placas de expulsión, expulsores, contra botadores.	1
39		Pruebas de funcionamiento	3

Fuente: El autor.

Figura 55. *Flujograma de construcción:*



Fuente: El autor.

6.5 Pruebas de producción del casco decorativo.

Luego del ensamblaje completo del molde, es decir el armado con todos sus elementos y accesorios. Se procede al momento tan esperado durante todo el tiempo de diseño y construcción, que son las pruebas del molde montado en la máquina inyectora.

Tabla 38. Pruebas de inyección del producto plástico.



	Montado del molde a la máquina, para ello primero amarramos por medio de bridas de sujeción el lado fijo del molde, posteriormente se sujeta el lado móvil.
	Calibrado de la unidad de cierre, este paso es muy importante, se debe asegurar que los brazos de cierre queden completamente perpendiculares al molde, de esta forma aseguramos el cierre.
	Calibrado de parámetros de inyección, en esta parte de proceso ingresamos parámetros al control de la máquina, principalmente temperatura de trabajo, tiempo de ciclo, volumen de inyección, etc.
	Una vez calibrado los parámetros de la máquina de inyección y previamente precalentado. Se procede a la primera inyección con PP y a una presión de 50 bar, en la cual no alcanza a llenar completamente la cavidad, debido al hecho de que el molde de encuentra frio. Luego de cinco intentos de llenado de la cavidad y a una presión de 90Bar, la cavidad se llena exitosamente.
	Después de hacer control de calidad se determina que únicamente hay que mejorar la apariencia del casco decorativo.

Fuente: El autor.

6.6 Retoques del molde.

Gracias a la ingeniería CAD/CAM/CAE, el molde funciona correctamente y se ve reflejado en producto plástico. Quedando únicamente el pulido de las cavidades, para mejorar notablemente la estética y calidad del casco decorativo

Tabla 39. *Retoques del molde.*

	<p>La excelente textura y apariencia de producto es fiel reflejo del pulido o acabado de la cavidad. En este caso la cavidad tiene rayaduras e imperfecciones que necesitan de un pulido de calidad, para poder eliminar estos inconvenientes.</p>
	<p>Luego de un pulido con una secuencia de lijas, hasta llegar a eliminar las imperfecciones.</p>

Fuente: El autor.

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS DE COSTOS Y MANTENIMIENTO

7.1 Costos del molde

7.1.1 Costos directos. Se detallan la inversión fija que se requiere en la elaboración del proyecto.

Tabla 40. Costos directos molde.

A. LISTA DE MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNID.	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
ACERO 705 (DIAM.32 X 700)	Kg	7.00	5.00	35.00
ACERO 705 (DIAM.80 X 250)	Kg	7.00	8.00	56.00
ACERO AISI 1010 (250X190X20)	Kg	6.00	6.00	36.00
ACERO AISI 1010 (250X190X35)	Kg	6.00	11.00	66.00
ACERO AISI 1010 (250X35X70)2U	Kg	6.00	8.00	48.00
ACERO AISI 1010 (250X95X20)2U	Kg	6.00	5.00	30.00
ACERO AISI P20 (250X160X50)2U	Kg	11.00	15.00	165.00
ACERO PLATA (DIAM.8 X 1000)	Kg	16.00	1.00	16.00
ACOPLE NPT ¼PLG	U	1.50	4.00	6.00
LIJAS (DIFERENTE GRANO)	U	0.60	12.00	7.20
O RING	M	3.00	1.00	3.00
PERNOS M10 X 100	U	1.50	4.00	6.00
PERNOS M10 X 45	U	0.80	4.00	3.20
PERNOS M8 X 25	U	0.60	4.00	2.40
PERNOS M8 X 45	U	0.70	4.00	2.80
			TOTAL =	482.60
B. LISTA DE EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	COSTOx HORA	HORAS-EQUIPO	TOTAL	
CENTRO DE MECANIZADO VERT. CNC	25.00	30.00	750.00	
ELECTRO EROSIONADORA	20.00	3.00	60.00	
FRESADORA	12.00	16.00	192.00	
RECTIFICADORA	12.00	5.00	60.00	
SIERRA DE BRAZO OSCILANTE	5.00	2.00	10.00	
TORNO	12.00	8.00	96.00	
			TOTAL =	1,168.00
C. LISTA DE MANO DE OBRA				

DESCRIPCIÓN	CAT.	SAL.REALxHORA TOTAL	HOR-HOMBRE	
TÉCNICO CAD/CAM	1	5.00 400.00	80.00	
OPERADORES MÁQ. HERRAM. CONVENCIONALES	2	2.50 80.00	32.00	
		TOTAL =	480.00	
D. TRANSPORTE DE MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNID.	PRECIO TRANSP	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
PLACAS PORTA MOLDE	Kg	0.18	69	12.42
COSTOS DIRECTOS TOTAL (A+B+C+D)=				2143.02

Fuente: El Autor.

7.1.2 Costos indirectos. En los costos indirectos se considera algunos valores referenciales en relación a los costos directos, se ha estimado conveniente para este caso un valor del 20%. Estos costos se desglosan a continuación:

Tabla 41. Costos indirectos molde (20%).

ITEM	DENOMINACIÓN	PORCENTAJE (%)	VALOR (USD)
1	Imprevistos costos directos	6	128.68
2	Armado del Molde	1	21.43
3	Utilidad	10	214.3
4	Otros	3	64.29
	Total costos indirectos	20%	428,6

Fuente: El Autor.

7.1.3 Costo total. El costo total del proyecto está representado por la suma de los costos directos e indirectos.

Tabla 42. Costo total molde.

ITEM	DENOMINACIÓN	VALOR (USD)
1	Costos directos	2143.02
2	Costos indirectos	428.6
	Costo total	2527

Fuente: El Autor.

A continuación se muestra el presupuesto para la construcción del molde:

PRESUPUESTO					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
001	MOLDE CASCO DECORATIVO	U	1	2572.00	2,572.00
					=====
TOTAL = USD					2,572.00

7.1.4 Costo de producción por cada casco decorativo. Se analiza el costo que demanda la producción de cascos decorativos, tomando en cuenta los elementos que intervienen para la producción, obteniendo primero el costo total mensual, para luego proceder a sacar los costos unitarios.

Cada casco decorativo pesa 13.5 gr, por cada ciclo de inyección se obtiene 2 cascos y por cada hora considerando tiempos muertos se producen 100 cascos, trabajando 8 horas diarias se tiene 800 unidades, resultando al mes una producción de 17600 trabajando 22 días laborables. Idealmente se ha proyectado producir 17000 cascos decorativos mensualmente, sin considerar productos que no pasen el control de calidad. En cuanto a peso del producto más la mazarota, se consume un promedio de 32 gr de polipropileno copolímero. Con 1Kg.se produce 30 cascos/kg.

Tabla 43. Costo mensual de producción casco decorativo.

Egresos mensuales	Materia prima virgen Precio mensual (USD)	Materia prima reciclada Precio mensual (USD)
Materia prima (x 586 Kg)	1465 (2.5USD/Kg)	1054.8 (1.8USD/Kg)
Costo alquiler máquina inyección	1056	1056
Mano de obra	318	318
Arriendo de local	300	300
Energía	110	100
COSTO TOTAL MENSUAL	3249	2838.8

Fuente: El Autor.

Para obtener el precio unitario dividimos el costo de producción por hora, para el número de cascos que se producen en ese tiempo (100 cascos), obteniendo lo siguiente:

Tabla 44. Costos unitarios casco decorativo.

	Cant./hora (USD)	Materia prima virgen Precio/ casco (USD)	Materia prima reciclada Precio/ casco (USD)
Materia prima (Precio x 3.5 Kg)	8.75(virgen) 6.3(reciclado)	0.09	0.06
Costo de Energía	0.625	0.00625	0.00625
Costo por hora de inyección	6	0.06	0.006
Arriendo de local	1.7	0.017	0.017
Costo de mano de obra	1.81	0.018	0.018
	Total	0.19	0.16

Fuente: El Autor.

Considerando una ganancia adicional USD 0.02 por producto, el precio de venta es de USD 0,21 por unidad.

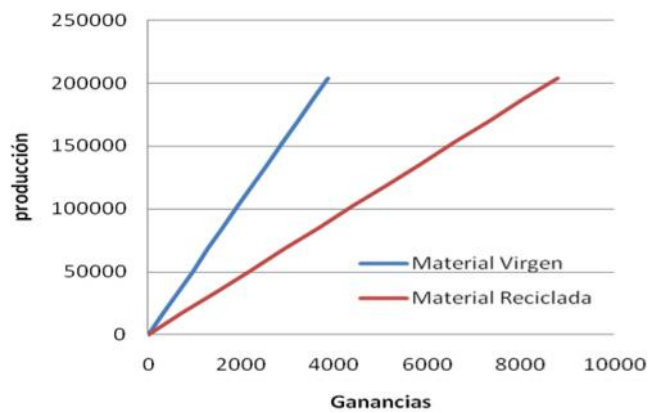
Tabla 45. Costo total de producción y ganancias mensualmente.

	Materia prima virgen (USD)	Materia prima reciclada (USD)
Ingresos por venta/ 17000	3570	3570
Costo de producción	3249	2838.8
Ganancias aproximadas por venta de cascos decorativos	321	731.2

Fuente: El Autor.

Figura 56. Producción vs. ganancia.

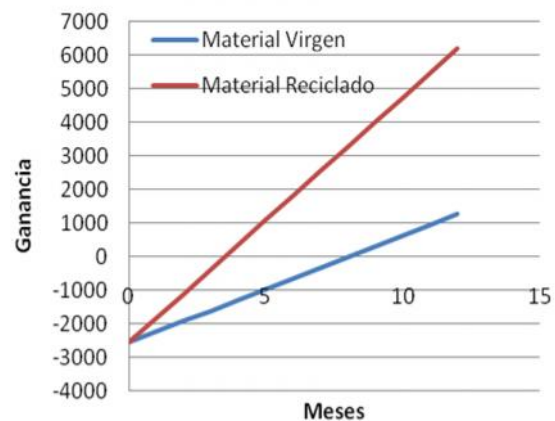
Producción vs. Ganancias



Fuente: El Autor.

Figura 57. Ganancia vs. meses.

Ganancia vs. Meses



Fuente: El Autor.

7.2 Mantenimiento

Todos los moldes deben de tener un cierto programa de mantenimiento. El mantenimiento regular puede ayudar para que el molde funcione con menos interrupciones, y le ahorrará tiempo, dinero. [11]

7.2.1 Medidas preventivas. Las medidas preventivas mejoran la vida de su molde por lo tanto antes de retirar el molde se deben tomar en cuenta algunos aspectos:

El molde debe de estar a temperatura ambiente, ya que el molde se enfrentaría a cambios de temperatura lo cual haría una condensación y esta causa moho y oxido.

- Todas las líneas de agua se deben drenar
- Las superficies, la base y la cavidad se deben de limpiar con un solvente y toallas para quitar cualquier acumulación de gases, grasas y otras resinas que se acumulen. Este procedimiento de limpieza no debe de tomar más de 10 minutos.
- El sistema eyector debe ser movido para rociar ambas mitades del molde con el lubricante (como WD-40).
- Compruebe y asegure que estén en su lugar todos los pernos, placas, etc.
- Cuando el molde se prepara de almacenaje y se alista para su funcionamiento de producción, abra el molde y limpie de nuevo las superficies, la base y la cavidad.

Precaución:

Las superficies altamente pulidas del molde no se deben limpiar con una toalla. En lugar de eso rocíe las superficies con el solvente y límpielas con aire ya que el polvo o la suciedad de los dedos o con las toallas podrían dañar la superficie.

Inspección:

El mantenimiento preventivo debe ser hecho cada vez que el molde entra a funcionar y cada vez que se quita. La inspección es observar problemas pequeños y programarlos para las reparaciones. Esta clase de mantenimiento se debe realizar por un operador o una persona experimentada, después de 20,000 ciclos, o al final de una producción.

- Examine el molde y busque el daño de menor importancia o si se requiere algún trabajo de retoque.
- El molde se debe de limpiar con un solvente para quitar el barniz y el acumulo de material del proceso de moldeado

7.2.2 Mantenimiento preventivo. Este nivel se debe realizar solamente por constructores de moldes con experiencia.

- Se separan todas las placas y se limpian sus caras.
- Todos los componentes se revisan para saber si hay algún desgaste. Se observa cualquier desgaste excesivo ya sea para reparación, sustitución o para continuar utilizándolo.
- Cualquier área de detalle de la cavidad con tallones, abolladuras u otras muestras del desgaste o del abuso se debe considerar críticas y debe ser analizada cuidadosamente antes de que procedan cualquiera de otros reemplazos o reparación.
- Todas las piezas móviles deben ser lubricadas. Utilice poco lubricante en todas las piezas móviles que hagan contacto con las piezas plásticas.
- Los sellos se deben revisar para evitar la fuga de fluido.
- Todas las líneas de agua deben ser probadas a presión para verificar los escapes y la capacidad de flujo.
- El sistema eyector se debe checar para la alineación, al igual los pernos guía para ver su desgaste si pueden continuar o deben de ser sustituidos.

Herramientas sugeridas para el mantenimiento apropiado del molde:

- La mesa de ensamble debe de manejar un mínimo de 5,000 libras
- Barras de aluminio o latón
- Sistemas de llaves de tuerca hexagonal
- Tanque de limpieza (liquido)
- Toallas limpias
- Aire comprimido, filtrado y a presión
- Linterna
- Un sistema de pulido fino para quitar las rebabas o rasguños de las placas, rellenos del molde
- Envases para almacenar todas las piezas perdidas
- Grasa de uso múltiple (grado mínimo de la temperatura 500 F)
- Cinta aislante. Para proteger todas las esquinas, bordes en las cavidades y en los corazones, también se puede utilizar en los pernos eyectores, correderas y corazones para proteger los bordes.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Al realizar el modelado de un producto plástico mediante software CAD y posteriormente el molde, es importante tomar en consideración el alcance tecnológico de mecanizado que se tiene en el país, para de esta manera añadir al producto detalles estéticos mecanizables en nuestra localidad, y quedar libres de depender de tecnologías que no están disponibles al momento en nuestra localidad (mecanizado mediante Lazer).

Al diseñar el molde con todas sus partes constitutivas, mediante cálculos de ingeniería, se llegó al objetivo principal que es reducir costos y garantizar la funcionalidad del mismo. Como una consecuencia directa del molde, se tiene un producto moldeado de la mejor calidad y a un costo de producción muy bajo.

Se concluye que el número de cavidades está directamente relacionado con el costo de fabricación del molde, por lo que en mucho de los casos hay que acogerse al presupuesto disponible.

Gracias al CAM, se puede reducir los errores debido al cansancio humano durante el proceso de mecanizado, obtener moldes para productos con formas aerodinámicas.

La calibración o ingreso de parámetros en la máquina de Inyección de plástico durante la primera prueba de funcionamiento del molde, se facilita gracias a los resultados obtenidos mediante el análisis de llenado de cavidad CAE.

Debido al diseño, fabricación y validación del molde aplicando Ingeniería CAD/CAM/CAE, los retoques en el producto moldeado durante la primera prueba de inyección son mínimos. Ésta es la tendencia del mundo industrializado que busca vías tecnológicas para satisfacer las exigencias del mercado en cuanto a calidad, rapidez y bajos costos.

El Casco Decorativo es de buena calidad y cumple con las exigencias del demandante, ya que su diseño es estético y atractivo a la vista del consumidor.

8.2 Recomendaciones

Realizar un prototipado del producto diseñado previo a la construcción, para tener un mayor criterio técnico, de esta manera realizar la optimización del producto.

Tomar en cuenta las características del polímero reciclado con el cual se piensa trabajar, ya que las temperaturas y presiones de trabajo varían considerablemente

Si se trabaja con material reciclado se debe utilizar únicamente material que haya sido extruido y luego granulado. Durante el proceso de extrucción se eliminan humedad, gases, impurezas, etc. De este modo se evita problemas de llenado de la cavidad y descalibración de las máquinas de inyección por falta de homogeneidad.

Tomar en cuenta otras alternativas de diseño para el sistema de expulsión del producto, con la finalidad de mejorar la estética del producto plástico.

Es necesario e importe para este tipo de proyectos, que el usuario tenga conocimientos técnicos en lo que se refiere a operar máquinas de inyección.

En la Facultad de Mecánica se debe implementar un laboratorio CAD/CAM/CAE, para estar actualizados con las tecnologías que están en auge en nuestro País.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.librosvivos.net/smtc/hometc.asp?temaclave=1079>
- [2] http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n
- [3] <http://es.scribd.com/doc/30320605/Capitulo-3-Proceso-de-Inyeccion-de-Plasticos>
- [4] GONZALES DE CABAÑES, Antoni. Diseño de piezas de plástico por inyección.
Departamento BASF Española S.A. Pág. 159-168.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora
- [6] http://es.wikipedia.org/wiki/Fabricaci%C3%B3n_asistida_por_computadora
- [7] <http://www.slideshare.net/nurrego/fresado>
- [8] <http://books.google.com.ec/operaciones+mecanizado>
- [9] <http://es.scribd.com/doc/16185199/Mecanizado-CNC-Torno-y-Fresadora>
- [10] <http://www.elacero.com.ec/pdf/aceros.pdf>
- [11] www.unoconvenciones.com/descargas/mtto.pdf

BIBLIOGRAFÍA

GÓMEZ, S. SolidWorks Simulation. México: Alfaomega. 2010.

IVÁN BOHMAN. Catálogo de aceros para Moldes.

LELAND, A. T. "Ingeniería Económica", 5ta.ed. México: McGraw – Hill. 2004.

MENGES; MOHREN. Moldes para Inyección Plástica. Barcelona: Gustavo Gili S.A.

MOTT, R. L. Diseño de Elementos de Maquinas. 4ta.ed. México: Pearson Educación.
2006

PAUCAR, M. Diseño, modelación, simulación y construcción de molde para tapas de cilindros de gas de uso doméstico por inyección plástica. Riobamba. ESPOCH.
2009 (tesis).

SANZ, F. CAD – CAM, Gráficos, Animación, y simulación para Computador. España: Magallanes.

SHIGLEY, J. E. Diseño de Elementos de Maquinas. 4ta.ed. México: McGraw – Hill.
1985.

LINKOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN AL CAD CAM

www.virtual.unal.edu.co/.../INTRODUCCION%20AL%20CAD-CAM
2012-05-01

MOLDES DE INYECCIÓN

wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/8/86/03moldesI08.pdf
2012-05-03

DISEÑO DE MOLDES PARA INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

<http://www.slideshare.net/MateoLeonidez/diseo-de-moldes-para-inyeccion-de-plasticos>
2012-05-10

MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

<http://www.haitian.com/>
2012-05-12

SOLIDWORKS PLASTICS 2012

www.solidworks.com/.../SW_Plastics_DataSheet
2012-09-16

ANÁLISIS DE COSTOS

http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_del_punto_de_equilibrio
2013-10-11

EL SALARIO BÁSICO UNIFICADO PARA EL 2013

<http://andes.info.ec/econom%C3%ADa/salario-b%C3%A1sico-unificado-2013>
2013-10-13

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA MOLDES DE INYECCIÓN

www.unoconvenciones.com/descargas/mtto.pdf
2012-10-21